



TRACTAMENT DE DADES DE TRÀNSIT: APLICACIÓ PER A L'AVALUACIÓ MEDIAMBIENTAL DE LA LIMITACIÓ DE VELOCITAT A 80 KM/H EN UN CORREDOR D'ACCÉS A BARCELONA

Ricardo Iñiguez, Francesc Soriguera i Leif Thorson

RESUM

El present treball té com a objectiu principal l'obtenció d'una base de dades del trànsit vàlida en el corredor d'entrada a Barcelona format per la B-23, l'AP-2 i l'AP-7, per tal d'aplicar un anàlisi microscòpic del comportament del trànsit d'aquestes vies, amb vistes a la implantació d'una regulació dels límits de velocitat amb la intenció de reduir la congestió i la contaminació atmosfèrica.

Aquesta limitació de la velocitat està regulada pel Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya que al maig de 2006 va publicar el decret 226/06 pel qual es declaren com a zones de protecció especial de l'ambient atmosfèric diversos municipis de les comarques del Barcelonès, el Vallès Oriental, el Vallès Occidental i el Baix Llobregat per als contaminants d'òxids de nitrogen (NOx) i per a les partícules en suspensió amb diàmetres inferiors a 10 micres (PM₁₀).

La primera part consisteix en un anàlisi dels detectors d'espira magnètics i de les característiques del corredor, passant en una segona part a un estudi del tractament de les dades on es desenvolupa la metodologia a aplicar sobre la base de dades.

Per a la creació de la base de dades completa es parteix de les dades de cada carril agrupades per minuts recollides pel sistema de monitorització que el Servei Català del Trànsit té instal·lat en el corredor d'accés a Barcelona en els dos sentits de circulació. A partir d'aquestes dades es procedeix a la programació dels algorismes del tractament de dades en llenguatge Visual Basic, per tal d'implementar-lo en un conjunt de macros i així millorar-ne les mancances i obtenir-ne més representativitat. Aquest tractament consisteix en la seva validació, la seva agregació temporal en dades rellevants cada 3 minuts, la seva agregació espacial en dades per secció cada 3 minuts, la seva reconstrucció, la seva agregació temporal en períodes de 15 minuts, la seva agrupació en trams homogenis prèviament establerts i finalment la determinació d'uns patrons vàlids per a cada tipologia de dia de la setmana, corresponents a dilluns, laborables, divendres, dissabtes i diumenges.

El treball continua amb l'anàlisi descriptiu d'aquestes dades obtenint el comportament actual de trànsit del corredor per a cada dia patró, detectant els colls d'ampolla espacials i temporals, les hores punta i les situacions de congestió. A continuació es realitza un estudi sobre les implicacions ambientals de les emissions del trànsit, es realitza un anàlisi sobre el parc automobilístic actual de l'Àrea Metropolitana de Barcelona i es desenvolupa una metodologia de càlcul d'emissions, adaptada al cas concret d'estudi, per tal de valorar les emissions d'òxids de nitrogen i de les partícules amb diàmetres inferiors a 10 micres per a cada tipologia de patró establert.

Finalment, a partir dels resultats obtinguts en l'aplicació de la metodologia ambiental es realitza una valoració de la proposta de reducció de la velocitat, comparant els resultats amb els obtinguts pel Departament de Medi Ambient i Habitatge, tenint en compte els errors que aquests presenten en la seva publicació, i es formulen noves propostes de gestió del corredor amb la intenció de reduir la congestió i la contaminació atmosfèrica, tant a curt termini, com a mig i llarg termini.

Paraules Clau

Tractament de dades; Detectors d'espira; Limitació de velocitat; Emissions; Medi ambient



TRAFFIC DATA PROCESSING: APPLICATION FOR THE ENVIRONMENTAL EVALUATION OF SPEED LIMITATION TO 80 KM/H ON AN ACCESS ROAD TO BARCELONA

Ricardo Iñiguez, Francesc Soriguera and Leif Thorson

ABSTRACT

The present work is mainly focused upon obtaining a valid traffic database on an access road to Barcelona (highways B-23, AP-2 and AP-7), in order to perform a microscopic analysis of traffic behavior. This is intended as a reference for setting some new legal speed limits, in an attempt to reduce congestion and air pollution.

This speed limitation is regulated by the Department of Environment and Housing of *Generalitat de Catalunya*, which in May 2006 published the decree 226/06, where a special status of protected atmospheric environment is granted for some areas (namely, various municipalities of the regions of *Barcelonès*, *Vallès Oriental*, *Vallès Occidental* and *Baix Llobregat*), for the pollutants of nitrogen oxides (NOx) and particles in suspension with diameters lower than 10 microns (PM10).

The first part is an analysis of the inductive loop detectors and the characteristics of the corridor, going on in the second part through a study of data processing, where a methodology to be applied on the database is developed.

To create a complete database, the information from each lane is grouped on a per-minute base after the data collected by the monitoring system installed by the *Servei Català del Trànsit* on both senses of the access corridor to Barcelona. This information is used for programming some custom database processing algorithms and macros in Visual Basic language, for smoothing overall data and getting a better display. This procedure goes through the following steps: validation; addition of time-relevant data every 3 minutes; addition of spatial data by section every 3 minutes; reconstruction; addition of time data every 15 minutes; homogeneous grouping in previously established sections; and, finally, identification, for every type, of some valid patterns of "day of the week", corresponding to Mondays, working days, Fridays, Saturdays and Sundays.

The work continues with a descriptive data analysis, obtaining the current traffic behavior of the corridor for each day pattern, detecting spatial and temporal bottlenecks, rush hours and situations of dense traffic. Next, there is a study on the environmental implications of the traffic emissions, an analysis on the current park of vehicles in the Barcelona Metropolitan Area and a methodology for calculating emissions -adapted to this specific case-, with the purpose to assess emissions of nitrogen oxides and particles with diameters lower than 10 microns for each type of pattern.

Finally, from the results obtained after applying the environmental methodology, a proposal of speed reduction is assessed, comparing the results with those obtained by the Department of Environment and Housing -bearing in mind the errors spotted in this publication-, and new proposals are given for the management of this corridor, in order to reduce traffic density and atmospheric pollution, in the short term, as well as in medium and long terms.

Key Words

Data processing; Loop detectors; Speed limitation; Emissions; Environment

**AGRAÏMENTS**

M'agradaria agrair als meus tutors, els Professors Francesc Soriguera i Leif Thorson, per la seva inestimable ajuda en l'elaboració d'aquesta tesina i el gran tracte humà rebut, així com per donar-me la possibilitat d'entrar a formar part del CENIT (Centre d'Innovació del Transport), on he trobat els mitjans i l'ajuda necessària per dur a terme aquest treball d'investigació.

Així mateix, m'agradaria mencionar el recolzament rebut de tots els companys del CENIT per l'ambient de treball creat. En especial a David Abeijón per l'ajuda prestada sobre detectors i sistemes d'ajuda als viatgers i a Jordi Selfa per la seva ajuda amb la creació de mapes de trànsit amb el programa Geomedia.

Finalment i no per això menys important, a la meva família i amics que han sigut un gran suport en tots aquests anys de carrera.



ÍNDEX

	<i>PÀGINES</i>
1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	01
2. ESTAT DE L'ART	02
2.1 EVOLUCIÓ DELS DETECTORS D'ESPIRA	02
2.2 TIPOLOGIA I FUNCIONAMENT DELS DETECTORS D'ESPIRA	03
2.3 INSTAL·LACIÓ DELS DETECTORS D'ESPIRA	05
2.4 ESTIMACIÓ DE LES VARIABLES FONAMENTALS DEL TRÀNSIT	07
2.4.1 Estimació de la intensitat a partir dels detectors d'espira	07
2.4.2 Estimació de la velocitat a partir dels detectors d'espira	07
2.4.3 Estimació de la densitat a partir dels detectors d'espira	11
3. CORREDOR D'ACCÉS A BARCELONA	12
3.1 ANTECEDENTS	12
3.2 DADES DISPONIBLES	13
3.3 MONITORITZACIÓ DE LA VIA D'ANÀLISI	15
3.3.1 Descripció de la via	15
3.3.2 Tramificació de la via	19
4. METODOLOGIA DE TRACTAMENT DE DADES	25
4.1 VALIDACIÓ DE LES DADES	25
4.2 AGREGACIÓ DE LES DADES	28
4.3 REGENERACIÓ DE LES DADES	30
4.4 OBTENCIÓ DE PATRONS	32
4.5 PROCEDIMENT A SEGUIR	34
5. QUALITAT DE LES DADES	36
5.1 EFECTIVITAT DEL TRACTAMENT DE DADES	36



5.2	FIABILITAT DE LES DADES	37
6.	ANÀLISI DESCRIPTIU DELS PATRONS	39
6.1	COLLS D'AMPOLLA	39
6.2	DESCRIPCIÓ DELS PATRONS	40
6.3	COMPORTAMENT GENERAL DEL CORREDOR	61
6.4	AFFECTACIÓ DE LES RETENCIONS	65
7.	AVALUACIÓ AMBIENTAL	68
7.1	INTRODUCCIÓ	68
7.1.1	La contaminació ambiental i la salut humana	70
7.1.2	Contaminants principals a l'atmosfera	72
7.1.3	Principals contaminants emesos pels vehicles	73
7.1.4	Mètodes per calcular el consum d'energia i les emissions produïdes	76
7.1.5	Models d'emissions produïdes pel transport per carretera	77
7.2	ESTIMACIÓ DE LES EMISSIONS CONTAMINANTS PRODUÏDES PEL TRÀNSIT	80
7.2.1	Metodologia	80
7.2.2	Extrapolació de la metodologia CORINAIR a les normatives més modernes	83
7.2.3	Classificació dels vehicles	84
7.2.4	Parc d'automòbils de l'Àrea Metropolitana de Barcelona	85
7.2.5	Factors d'emissió de cada tipologia de vehicle	86
7.2.6	Preparació de les dades pels càlculs ambientals	88
7.3	CÀLCUL DEL DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE	89
7.3.1	Partícules menors de 10 micres (PM10)	90
7.3.2	Òxids de nitrogen (NOx)	93



8. RESULTATS I MESURES D'APLICACIÓ	96
8.1 RESUM DE RESULTATS	96
8.1.1 Òxids de nitrogen (NOx)	97
8.1.2 Partícules menors de 10 micres (PM10)	100
8.2 COMPARACIÓ AMB EL DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE	103
8.3 MESURES D'APLICACIÓ	104
8.3.1 A curt termini (2008 – 2009)	105
8.3.2 A mig - llarg termini (2010 -)	108
9. CONCLUSIONS	111
10. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	113
11. ANNEXOS	a-01
ANNEX – 1. ANÀLISI DE LA TEORIA DEL TRÀNSIT	a-02
ANNEX – 2. FIABILITAT DE LES DADES	a-08
ANNEX – 3. MAPES DELS PATRONS	a-14
ANNEX – 4. ENVOLVENTS D'HORA PUNTA	a-32
ANNEX – 5. PREPARACIÓ DE LES DADES	a-101
ANNEX – 6. RESULTATS DE L'AVALUACIÓ AMBIENTAL	a-104
ANNEX – 7. GESTIÓ DE LA VELOCITAT DE CIRCULACIÓ	a-116



1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Les variables fonamentals del trànsit són els indicadors més adequats per tal de conèixer el nivell de servei de les vies de comunicació i són molt importants en la mesura i detecció de situacions de congestió.

La valoració d'aquestes variables és necessària per la planificació d'una xarxa viària i la optimització de la infraestructura, proporcionant a més a més, informació molt apreciada pels usuaris de les carreteres, permetent-los escollir entre varies alternatives i així obtenir un millor nivell de servei.

La determinació d'aquestes variables presenta un cert grau de complexitat en el transport per carretera, degut principalment, a la saturació creixent existent en les xarxes viàries de les grans ciutats, on es produeix un gran augment dels desplaçaments amb vehicle privat.

L'aparició dels Sistemes Avançats d'Informació al Viatger (ATIS) durant els primers anys de la dècada de 1990, han provocat que els diversos operadors de transport i gran part de les administracions públiques s'interessin en la mesura de les variables fonamentals del trànsit per la planificació i optimització de les infraestructures.

No obstant, encara que s'han realitzat molts avanços en el camp de l'enginyeria de trànsit i de les aplicacions intel·ligents de sistemes de trànsit, els procediments de valoració de la informació obtinguda per les variables fonamentals per aplicacions ATIS són insuficients.

En l'actualitat, les variables fonamentals del trànsit es poden conèixer a partir de diferents aparells, tenint en compte que es poden mesurar de manera directa o indirecta. La mesura directa s'obté amb els equips de mesura i els procediments que permeten obtenir directament aquestes variables, mentre que la mesura indirecta obté aquestes variables a partir de l'aplicació d'algoritmes sobre les variables que si s'han pogut mesurar directament.

Els detectors d'espina magnètics permeten determinar aquestes variables de manera indirecta o directa (depenent de la variable) i de manera exhaustiva a partir del conjunt de mesures corresponents al total d'usuaris que detecten.

Així, a partir de les dades d'intensitat i velocitat obtingudes dels detectors d'espina instal·lats al llarg de la via d'estudi que comprèn la B-23, l'AP-2 i l'AP-7 entre Barcelona i Martorell, s'apliquen algoritmes que permeten realitzar una correcta utilització de les dades per tal de calcular la contaminació ambiental que es produeix en aquest itinerari i poder proposar les mesures més adequades a implementar.



2. ESTAT DE L'ART

2.1 EVOLUCIÓ DELS DETECTORS D'ESPIRA

La tecnologia dels detectors d'espira magnètics s'ha utilitzat per a la detecció dels vehicles des de principis de la dècada de 1960. Els primers dissenys dels detectors d'espira eren molt similars en diversos aspectes als actuals i proporcionaven la detecció de vehicles que ocupaven la zona definida pel perímetre de l'espira. Les àrees de les espiras variaven bastant, des de les més petites amb 6 peus per 6 peus, a les majors amb 6 peus per 100 peus. Aquestes dimensions variaven en funció de les exigències del sistema de control. Les espiras més petites s'utilitzaven usualment per la regulació de la densitat de volum, on la presa de informació dels vehicles era necessària per variar la distribució de senyals de trànsit. Les espiras més grans eren utilitzades típicament amb reguladors de control d'ocupació d'espires (LOC) on les senyals de trànsit responien a la demanda de la detecció de vehicles en la secció de control. Aquests controladors oferien millorar l'eficàcia en el moviment del trànsit en els carrers i carreteres.

A mitjans de la dècada de 1970 els avanços tecnològics van permetre que fossin econòmicament possibles detectors d'espira utilitzant tècniques digitals. Els primers detectors d'espira digitals van entrar en funcionament a 1974-1975. Amb la introducció d'aquests detectors digitals va ser possible detectar amb més precisió els vehicles. Abans de 1980 la tecnologia anterior va quedar obsoleta i es van substituir els detectors anteriors pels detectors digitals.

El funcionament dels primers detectors d'espira digitals estava limitat per la velocitat disponible dels aparells individuals digitals que els formaven. El següent avanç en els detectors d'espira digitals va tenir lloc a finals de la dècada de 1970 quan la tecnologia de MOS-LSI (semiconductor metàl·lic d'òxid – integració de gran escala) es va fer econòmicament factible, millorant la fiabilitat i la reducció de costos de fabricació. La tecnologia dels microprocessadors va avançar ràpidament en la dècada de 1980 i els dissenys dels detectors d'espira van començar a utilitzar els microprocessadors estàndard disponibles a la indústria.

Tots els dissenys de detectors d'espira fabricats durant els anys 80 i a principis de la dècada de 1990 eren similars en el concepte. Com la velocitat dels components electrònics disponibles va augmentar durant aquest període, el funcionament i les capacitats dels detectors d'espira digitals també van augmentar. Els paràmetres d'ajust dels detectors (sensibilitat, freqüència, etc.) podien ser configurats mitjançant un panell davanter amb interruptors. Aquests dissenys tenien una limitació de flexibilitat per programar qualsevol funció no inclosa inicialment. A més a més d'aquesta limitació en la flexibilitat, no hi havia una capacitat de reacció disponible per l'usuari, ja que si algun interruptor fallava, l'usuari no tenia manera de conèixer aquest error i assumiria que el detector no fallava.

Durant la primera meitat de la dècada de 1990 es va introduir el primer software programable pels detectors d'espira digitals. Els dissenys programables a base



de software van reduir considerablement el nombre d'interruptors requerits en el detector. Aquests van ser portats a terme substituint la gran part dels seus interruptors per una pantalla de LCD (Liquid Crystal Display). El disseny programable a base de software proporciona la capacitat de programar moltes funcions especials sense tenir que canviar el hardware existent, amb l'excepció del microprocessador utilitzat. Això és molt atractiu quan els usuaris necessiten una funció especial, no estàndard, per una aplicació específica, aconseguint una gran flexibilitat econòmica, a més a més d'una major fiabilitat en la obtenció de dades per la major exactitud dels paràmetres d'ajust. Un altre aspecte important del detector d'espira és que la informació pot ser mostrada en el seu panell davanter, així com un gràfic de barres que és mostrat a la pantalla i mostra la magnitud relativa del canvi de inductància per un vehicle donat. Coneixent les variacions de la inductància en l'espira per un vehicle mitjà, es pot ajustar correctament la sensibilitat per la detecció més exacta de vehicles i petites motocicletes.

Els nous dissenys de detectors a base de software utilitzen la última tecnologia disponible amb microprocessadors de tecnologia avançada. Aquesta tecnologia actual de microprocessadors és molt més ràpida i proporciona una capacitat computacional més poderosa. A més a més, han aparegut recentment una sèrie de detectors d'espira avançats capaços de tractar informació sobre les formes d'ona característiques de cada vehicle. Com aquestes formes d'ona són diferents per a cada vehicle que passa per sobre del detector inductiu encastat sota la carretera, es pot obtenir informació molt valuosa pels sistemes de control de trànsit per augmentar la sensibilitat dels sistemes.

Els avanços en la tecnologia electrònica, relacionats amb l'aïllament excel·lent dels filferros per espire inductives sota el paviment, provoquen un gran us i fiabilitat en la detecció de vehicles i de les variables fonamentals del trànsit.

2.2 TIPOLOGIA I FUNCIONAMENT DELS DETECTORS D'ESPIRA

Des de la introducció dels detectors d'espira magnètics en la dècada de 1960, les dades obtingudes proporcionen una font molt valuosa de valors de trànsit en temps real.

Els detectors d'espira magnètics són un sistema de vigilància de vehicles capaç de sentir la presència d'un vehicle i transmetre la informació a un sistema de control de trànsit. Estan formats principalment per dos components corresponents al sistema d'espira i la targeta del detector. El sistema d'espira és una combinació de llaços de filferros relacionats per línies de transmissió al gabinet de trànsit. La targeta del detector és una unitat electrònica que activa el llaç físic amb una senyal periòdica. D'aquesta manera, s'indueix a un camp magnètic al voltant del llaç pel circuit de ressonància de la targeta del detector. En conseqüència la detecció dels vehicles es porta a terme calculant la variació de la inductància total del sistema de llaç causada quan un vehicle entra en el camp magnètic creat.



La base de funcionament del sistema és la detecció de la variació que pateix el coeficient d'autoinducció d'una bobina de poques espires quan se li varia la permeabilitat magnètica del seu nucli amb la presència d'un vehicle.

L'espira forma part d'un oscil·lador en el que quan hi ha una disminució del coeficient d'autoinducció de la mateixa, se li produeix un incremento de la freqüència en el circuit oscil·lador, que es detecta per la electrònica que forma el sistema del detector.

En el cas d'alguns detectors d'espira avançats, els canvis de la inductància poden ser registrats en intervals de temps petits, permetent registrar a més a més, les formes d'ona inductives de cada vehicle per al mostreig de les variacions inductives experimentades.

El hardware necessari per col·leccionar les formes d'ona dels vehicles està compost per quatre elements: l'ordinador de col·lecció de dades, la font de sincronització de temps, el detector d'espira i la targeta del detector. Després de que el detector percep el canvi d'inductància de les espires, transmet les formes d'ona a l'ordinador de col·lecció de dades pel seu emmagatzematge. Un Sistema de Posicionament Global (GPS) opcional pots ser inclòs per obtenir dades de temps més exactes.

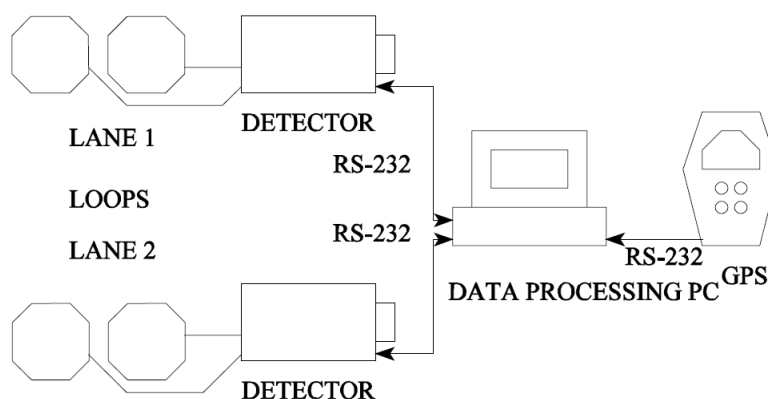


Figura 1. Hardware de col·lecció de formes d'ona per detectors d'espira.

(Font: Sun and Ritchie, 1999)

Els detectors d'espira poden ser simples o dobles, en funció de si solament es col·loca un detector d'espira en cada secció de la carretera o si es col·loquen dues separades una distància aproximada de 3 a 5 metres.

El cost unitari dels detectors d'espira es baix, però al llarg de la seva vida útil (entre 5 i 15 anys), són necessàries diverses operacions de manteniment, provocant un cost d'explotació significatiu.

El cost de convertir un detector d'espira simple en un doble és alt, ja que s'ha de tenir en compte el cost directe del propi detector i el cost indirecte de tenir que tancar la via al trànsit, sent aquests de 750 i 2.500 - 5.000 dòlars respectivament segons el Washington State Department of Transport (WSDOT) en 2003.



Els detectors d'espira són sensors amb una bona precisió per l'obtenció de les variables fonamentals del trànsit. Son molt poc sensibles a les variacions de les condicions ambientals dintre d'uns límits molt acceptables per les diferents zones geogràfiques del planeta, podent treballar entre -40 °C i 85 °C, amb humitats relatives menors del 95 % i sota les diferents situacions de qualitat del ferm.

No obstant, els detectors d'espira pateixen un nombre considerable d'avaries en el seu període de vida útil, oscil·lant entre 0,13 i 0,29 avaries per espira a l'any, afectant aquestes fins el 50% dels detectors existents en una carretera en un any.

La instal·lació dels detectors d'espira sota el paviment de les carreteres no és senzilla, però tenen un calibrat relativament ràpid. Degut a la seva situació en la infraestructura i la taxa significativa d'avaries, poden ocasionar restriccions de trànsit durant les diverses operacions de manteniment, encara que s'intenta que la seva execució es realitzi en les situacions en que tinguin una menor repercussió pel trànsit.

		Detectors d'espires magnètics	
		Detectors Simples	Detectors Dobles
Precisió	Intensitat	Alta	Alta
	Velocitat	Baixa	Mitja
	Densitat	Mitja	Mitja
Fiabilitat	Avaries	Baixa	Alta
	Condicions	Baixa	Alta
Representativitat		Mitja	Mitja
Cost	Unitari	Baix	Baix
	D'explotació	Alto	Alto
	Mitjà al llarg	Mig	Mig

Figura 2. Taula resum de les característiques més significatives.

(Font: Elaboració pròpia)

2.3 INSTAL·LACIÓ DELS DETECTORS D'ESPIRA

El funcionament òptim del mòdul del detector d'espira depèn, en gran mesura, d'una correcta instal·lació del sensor inductiu que està connectat al mòdul. Una posició adequada per al mòdul consisteix en estar situat el més pròxim possible de les espires i sota una capa impermeable.

Quan dues configuracions d'espira estan pròximes, els camps magnètics generats per cadascuna poden solapar-se i interferir en el camp magnètic de l'altre. Aquests fenòmens d'interferència poden causar dades falses, pel que es sol utilitzar una configuració adequada i l'ús d'uns elements correctors (Kell et al., 1990).

Les espires es fabriquen amb un conductor aïllat de coure i es protegeixen de la vibració excessiva generada pel trànsit que circula sobre la seva configuració mitjançant un material segellador, per tal d'evitar la deterioració prematura dels contactes elèctrics.

La posició sota el paviment de les carreteres sol seguir la disposició mostrada a les Figura 3 i 4.

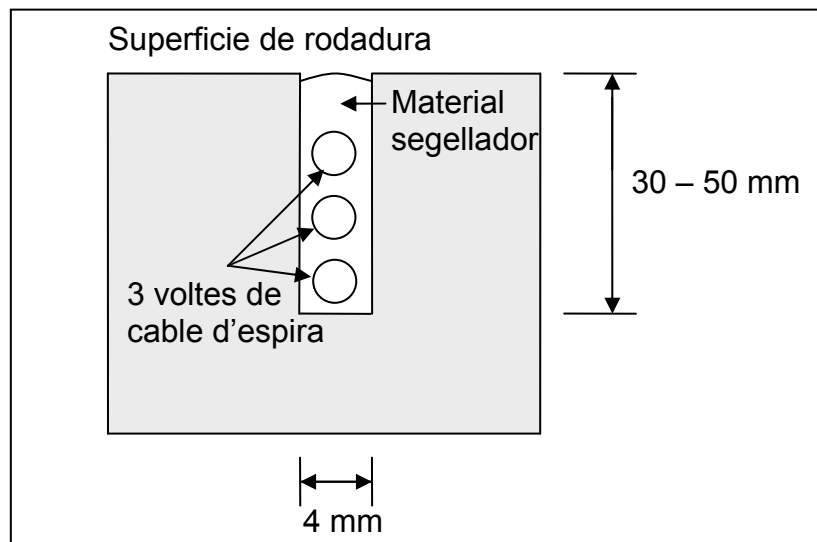


Figura 3. Detall en alçat de la posició del detector d'espira.
(Font: Elaboració pròpia)

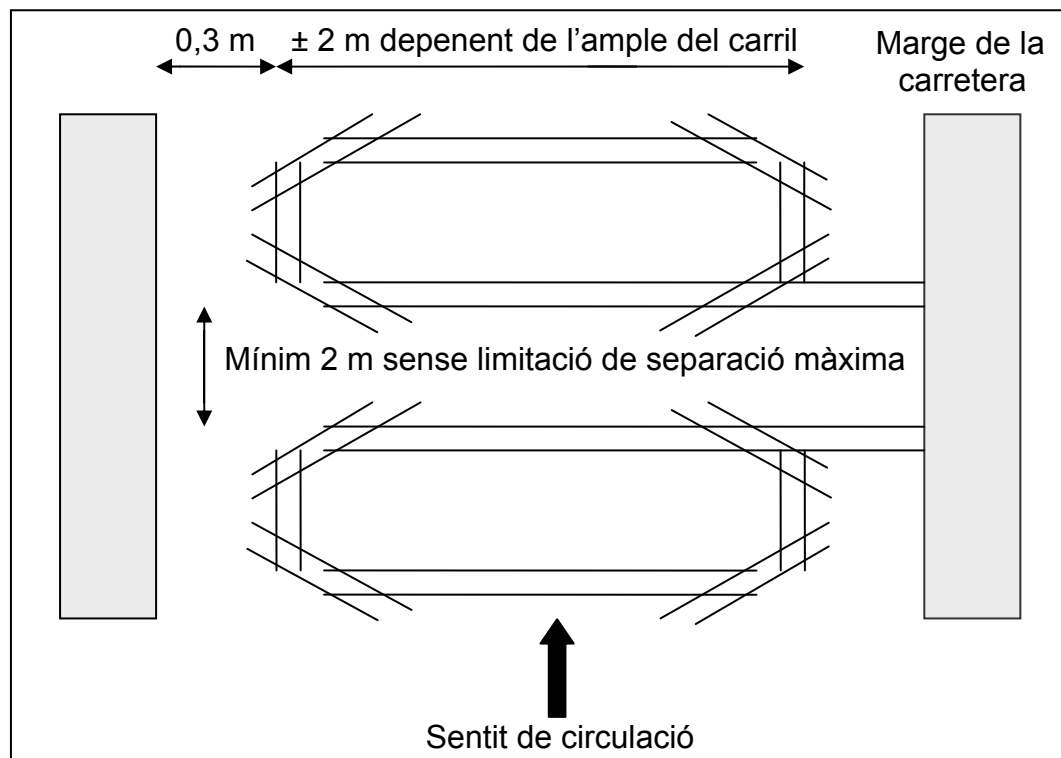


Figura 4. Detall en planta de la posició del detector d'espira.
(Font: Elaboració pròpia)



2.4 ESTIMACIÓ DE LES VARIABLES FONAMENTALS DEL TRÀNSIT

2.4.1 Estimació de la intensitat a partir dels detectors d'espira

L'estimació de la intensitat és una mesura que s'obté de la mateixa manera, tant en els detectors d'espira simples com en els dobles, utilitzant la següent expressió.

$$q = \frac{\sum_{i=t}^{t+\Delta t} m_{i,t}}{\Delta t} \quad [1]$$

On: q és la intensitat o flux.

$m_{i,t}$ és el nombre de vehicles que passen pel detector d'espira i a l'instant de temps t .

2.4.2 Estimació de la velocitat a partir dels detectors d'espira

La velocitat és una variable fonamental de trànsit que és aplicable tant a l'anàlisi macroscòpic com al microscòpic.

Existeixen diferents terminologies per a les mesures de velocitat en funció de la seva naturalesa.

Es defineix la velocitat mitjana temporal (VMT) com la mitjana de les velocitats dels vehicles quan travessen una determinada secció d'una carretera.

Es defineix la velocitat mitjana espacial (VME) com la mitjana de les velocitats dels vehicles que es troben en un determinat tram d'una carretera en un instant de temps determinat.

Es defineix la velocitat mitjana de recorregut (VMR) com la mitjana de les velocitats mitjanes dels vehicles quan recorren un determinat tram d'una carretera.

Per tant, els detectors d'espira simples o dobles permeten mesurar valors de velocitats mitjanes temporals i velocitats mitjanes espacials en funció de la fórmula d'agregació de les dades utilitzada.

Existeixen dues maneres de mesurar la velocitat mitjançant detectors d'espira magnètics.

La primera manera consisteix en la utilització de detectors d'espira dobles mitjançant una configuració de trampa de velocitat al estar separats una certa distància. La trampa de velocitat es refereix a la mesura del temps que un vehicle necessita per viatjar entre dos punts de control separats una distància òptima. D'aquesta manera, la velocitat es mesura mitjançant:



$$v = \frac{d}{t_2^{on} - t_1^{on}} \quad [2]$$

- On: d és la distància entre els dos detectors d'espina.
 v és la velocitat mitjana de cada vehicle entre els dos detectors d'espina.
 t_1^{on} és el temps quan es connecta el primer detector d'espina.
 t_2^{on} és el temps quan es connecta el segon detector d'espina.

No obstant, amb la finalitat de millorar l'exactitud de l'algoritme es recomana realitzar la mitjana de les velocitats tenint en compte quan es connecten i desconnecten els detectors d'espina, mitjançant la següent expressió:

$$v = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d}{t_2^{on} - t_1^{on}} + \frac{d}{t_2^{off} - t_1^{off}} \right) \quad [3]$$

- On: t_1^{off} és el temps quan es desconnecta el primer detector d'espina.
 t_2^{off} és el temps quan es desconnecta el segon detector d'espina.

La segona manera consisteix en mesurar la velocitat de manera indirecta mitjançant un detector d'espina simple. Una primera aproximació s'obté utilitzant la següent expressió.

$$v = \frac{l}{t_{off} - t_{on}} \quad [4]$$

- On: l és la distància efectiva de cada detector d'espina (longitud de vehicle + longitud del detector d'espina).
 t_{on} és el temps quan es connecta el detector d'espina.
 t_{off} és el temps quan es desconnecta el detector d'espina.

En aquest cas, es necessari conèixer totes les longituds actuals dels vehicles, però com aquestes no són conegudes, es considera una longitud mitjana de vehicle. Per tant, al realitzar aquesta simplificació, s'incorpora una gran imprecisió en la determinació de la velocitat, ja que les longituds dels vehicles són molt diferents entre si, obtenint una subestimació important en el cas dels camions més grans i una sobreestimació considerable en el cas de les motocicletes i els vehicles curts.

Una altra aproximació consisteix en determinar la velocitat a partir de les relacions de les variables fonamentals del trànsit. D'aquesta manera, s'estima una velocitat mitjana espacial utilitzant el volum mitjà per carril, la ocupació com una constant múltiple de la densitat i un factor relacionat amb la longitud dels vehicles i del detector (Coifman, 2000).



$$v = \frac{q}{o} \cdot g \quad [5]$$

On: v és la velocitat mitjana espacial.
 q és el flux.
 o és la ocupació.
 g és un factor que considera la longitud dels vehicles i del detector d'espira.

En conseqüència, per aconseguir una major exactitud, és necessari poder considerar un valor de g el més ajustat possible, podent variar amb la ocupació i sent calibrat separatament per a cada detector d'espira. A més a més, aquest algoritme considera que el flux de trànsit és uniforme, obtenint-se uns valors de la velocitat bastant inexactes quan existeix congestió.

Per millorar aquests resultats obtenint el mínim error quadràtic mitjà per la mesura de la velocitat amb els detectors de llaç simples, es suggereix assumir que els temps arbitraris d'arribades dels vehicles a un detector d'espira estan uniformement distribuïts. Així mateix, aquesta aproximació també requereix el coneixement de les longituds dels vehicles durant un interval de temps rellevant, obtenint resultats amb un error significatiu.

Una altra aproximació consisteix en utilitzar les formes d'ona inductives de cada vehicle (Sun and Ritchie, 1999). D'aquesta manera no s'assumeix ni una longitud de vehicle mitjana, ni una distribució uniforme d'arribades al detector, ni unes condicions de trànsit uniformes, podent obtenir la velocitat individual de cada vehicle i no una velocitat mitjana espacial.

En un primer pas, el detector d'espira extreu la informació de formes d'ona eliminant les oscil·lacions que tenen els valors de la inductància a prop de les línies de base. Això s'aconsegueix utilitzant un llindar arbitrari del 10-20% que elimina totes les oscil·lacions conservant la gran part de la informació de les formes d'ona. Les oscil·lacions a prop de les línies de base succeeixen perquè la targeta del detector tracta constantment d'ajustar el valor de la inductància per compensar canvis de la inductància absoluta degut a efectes ambientals i altres efectes. Les oscil·lacions també succeeixen perquè els vehicles estan formats per una combinació complexa de masses metàl·liques.

El següent pas extreu els límits dels bordes d'ona a partir de la detecció de màxims locals de les formes d'ona de cada vehicle, tenint en compte la següent relació:

$$f(x) \leq f(c), \forall x \in S \quad [6]$$

On: c és l'instant de temps en que succeeix el màxim local.
 $f(c)$ és el màxim local.
 $f(x)$ és el valor de la forma d'ona o variació de la inductància a l'instant de temps x .



S és el conjunt de valors de temps que solament contenen un màxim local.

A continuació es realitza un model de regressió lineal simple per correlacionar la velocitat i les dades de les formes d'ones.

$$speed_i = \alpha + \beta \cdot slew_i + \varepsilon_i \quad [7]$$

On: $speed_i$ és la variable dependent de la regressió.
 $slew_i$ és la taxa de variació de les inductàncies corresponents a la variable independent de la regressió.
 ε_i és el terme de pertorbació.

En el context de la regressió lineal,

$$\hat{speed}_i = a + b \cdot slew_i \quad [8]$$

$$e_i = speed_i - \hat{speed}_i \quad [9]$$

On: \hat{speed}_i són les estimacions de la velocitat.
 e_i és el valor residual.
 a, b són els paràmetres de la regressió.

Per tal de determinar els paràmetres a i b de la regressió s'utilitza la minimització de la suma dels valors residuals al quadrat. Resolent les equacions següents s'obtenen els paràmetres del model de regressió.

$$a \cdot n + b \cdot \sum_{j=1}^n slew_j = \sum_{j=1}^n speed_j \quad [10]$$

$$a \cdot \sum_{j=1}^n slew_j + b \cdot \sum_{j=1}^n slew_j^2 = \sum_{j=1}^n (slew_j \cdot speed_j) \quad [11]$$

El principal problema d'aquesta metodologia és que la majoria dels detectors d'espina simples no posseeixen la capacitat de representar les formes d'ona inductives dels vehicles, podent-se aplicar solament en els detectors habilitats amb les característiques requerides. No obstant, és un mètode que proporciona una bona exactitud al no utilitzar una funció de distribució de longituds de vehicles en el càlcul de la velocitat. A més a més, la implementarien d'aquest mètode requereix molt poc cost computacional, degut a la senzillesa de la formulació exposada.

Cal destacar que degut a la diferencia de sensibilitat entre els detectors d'espina, un vehicle que es trasllada amb una velocitat constant, pot tenir mesures d'ocupació diferents en les diverses seccions de control. Per intentar eliminar aquest efecte sobre les mesures, s'introdueix un coeficient de correcció



de sensibilitat (μ) que es calibra usualment mitjançant les mesures obtenides en condicions de trànsit no congestionades, com per exemple, a mitja nit.

$$\mu = \frac{v_{ob} \cdot T}{\sum_{t=1}^T \frac{q_t}{o_t} \cdot L} \quad [12]$$

On: v_{ob} és la velocitat observada en règim de trànsit lliure.
 T és el número de intervals de temps amb règim de trànsit lliure.
 L és la longitud mitjana dels vehicles menors de 12 metres.
 o_t és l'ocupació a l'interval de temps t .

2.4.3 Estimació de la densitat a partir dels detectors d'espira

Existeixen dues maneres de mesurar la densitat mitjançant detectors d'espira magnètics.

La primera manera consisteix en la utilització de detectors d'espira dobles mitjançant una configuració de trampa de velocitat al estar separats una certa distancia. D'aquesta manera, la densitat es mesura mitjançant l'equació fonamental del trànsit mostrada a continuació, a partir de les seves variables fonamentals.

$$k = \frac{q}{v} \quad [13]$$

On: k és la densitat.

La segona manera s'utilitza si les dades provenen de detectors d'espira simples (Oh et al., 2002), on la densitat de trànsit s'obté a partir dels valors directes de l'ocupació (o), és a dir, a partir del percentatge de temps que cada vehicle ocupa el detector d'espira. En conseqüència, per determinar la densitat de trànsit es necessita considerar una longitud mitjana pels vehicles (g) i la longitud de la secció de carretera ocupada per el detector d'espira (L) segons l'expressió següent:

$$k = \frac{o \cdot L}{g} \quad [14]$$



3. CORREDOR D'ACCÉS A BARCELONA

El present treball té com a objectiu principal l'obtenció d'una base de dades de les variables fonamentals del trànsit en el corredor format per la B-23, l'AP-2 i l'AP-7 per tal d'alimentar una microsimulació del comportament del trànsit d'aquestes vies, amb vistes a la implantació de nous límits de velocitat amb la intenció de reduir la congestió i la contaminació atmosfèrica.

3.1 ANTECEDENTS

El Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya va publicar el maig de 2006 el decret 226/06 *pel qual es declaren zones de protecció especial de l'ambient atmosfèric diversos municipis de les comarques del Barcelonès, el Vallès Oriental, el Vallès Occidental i el Baix Llobregat per als contaminants d'òxids de nitrogen i per a les partícules en suspensió*. La publicació d'aquest decret obeeix a l'establiment per la normativa europea d'uns valors límits de qualitat de l'aire per tal de preservar la salut de les persones i el medi, i a la obligació quan aquests límits són sobrepassats, als organismes competents de redactar plans d'actuacions per tal de restablir la qualitat de l'aire.

En el cas de l'Àrea Metropolitana de Barcelona els nivells de contaminació per òxids de nitrogen i per partícules en suspensió estan lluny de situar-se per sota dels llindars màxims fixats, i més aviat, experimenten en els últims anys una tendència a incrementar el nombre de dies en que se superen els límits màxims fixats. Enfront d'aquesta situació es va fer necessària la declaració de zones de protecció especial de l'ambient atmosfèric, i per tant la publicació del decret 226/06 del 23 de maig, del qual es despendrà un pla d'actuació, redactat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge en el que es preveu les accions mínimes que han de ser implantades per tal de reduir la contaminació atmosfèrica.

El pla d'actuació associat a la declaració de les zones de protecció especial atmosfèric estableix una sèrie de mesures en diferents àmbits: el de la indústria i l'energia, el transport terrestre, aeri i marítim, el sector domèstic i la sensibilització de la població. Cal assenyalar l'especial importància que recau en el transport terrestre en les emissions totals de contaminants, ja siguin òxids de nitrogen o partícules en suspensió. Les vies principals es constitueixen en unes de les principals fonts d'emissions amb impactes en la qualitat de l'aire molt significatius en les zones pròximes a elles. En relació a les vies secundàries, són els accessos a Barcelona les vies que presenten un majors nivells d'emissions. Pel que fa al trànsit urbà, la seva aportació és menys significativa i es distribueix homogèniament en les zones urbanes. És per aquesta raó que el pla d'actuació contra la contaminació atmosfèrica proposa tota una sèrie de mesures relatives al transport terrestre com per exemple la construcció d'aparcaments dissuasoris, l'ampliació de la xarxa metro i de Ferrocarrils Catalans de la Generalitat, la creació carrils VAO, l'aplicació de la Normativa Euro 4 i 5, accions sobre vehicles pesants de les administracions públiques, etc. Entre les mesures proposades pel Departament de Medi Ambient també s'inclou la reducció del límit màxim de velocitat en les autopistes, autovies i carreteres principals a 80km/h, proposta que es basa amb



la reducció del factor d'emissió dels vehicles a aquesta velocitat en relació a velocitats més altes per als vehicles que conformen la major part del parc de vehicles actual.

El Servei Català del Trànsit proposa una gestió de la velocitat màxima diferent a la proposada pel Departament de Medi Ambient i Habitatge. La seva proposta es basa en fer una gestió dinàmica de la velocitat per tal de mantenir les velocitats mitjanes dins un interval de ± 20 km/h, velocitat que es fixaria depenent de grau de congestió i/o de la contaminació atmosfèrica.

És dins d'aquesta proposta on s'insereix el present projecte. Així, es pretén simular el funcionament del corredor d'entrada de Barcelona des de Martorell per les vies AP-7, AP-2 i B-23 en la situació actual i en diferents escenaris de control de la velocitat. Prèviament a aquesta modelització es fa necessari la determinació de les intensitats dels vehicles i la seva variació en diferents períodes temporals, així com la determinació dels principals patrons de comportament del trànsit en la via d'anàlisi.

3.2 DADES DISPONIBLES

El Servei Català de Trànsit disposa d'un sistema de recollida de dades que permet obtenir diferents paràmetres referents al flux de vehicles en diferents punts de la via i amb intervals d'1 minut. Per tal d'entendre la qualitat i detall que ofereixen aquestes dades cal descriure, en primer lloc, el sistema de recollida de dades.

El sistema de recollida de dades en l'eix format per la B-23, l'AP-2 i l'AP-7 entre Barcelona i el peatge de Martorell està compost per 103 Estacions de Tractament de Dades (ETD), 52 en sentit de sortida de Barcelona i 51 en sentit d'entrada a Barcelona. Aquestes ETDs estan disposades aproximadament cada 500 m coincidint la seva localització, en la majoria dels casos, amb els pòrtics de senyalització que el Servei Català de Trànsit té disposats en la via. Cal assenyalar que les ETDs d'un i altre sentit es localitzen sempre de manera alineada, és a dir, que cada parell d'ETDs es localitza en el mateix punt quilomètric.

Cada ETD està composta per un conjunt d'espises o detectors que mesuren el trànsit en cada carril de la via, oferint, d'aquesta manera, informació individualitzada per cadascú d'ells. En total existeixen 330 detectors, 170 en direcció sortida i 160 en direcció entrada. No obstant, aquestes ETDs no són sempre iguals, sinó que hi ha de simples i de dobles, que tal com ja hem comentat a l'apartat anterior, no ofereixen la mateixa informació, obtenint dades d'intensitat en les simples i dades d'intensitat, velocitat i tipologia de vehicle en les dobles. Això es deu, a que encara que existeixen algorismes que permeten estimar més variables a partir dels detectors d'espira simples (Wan and Nihan, 2003), aquests requereixen una calibració amb detectors d'espira dobles en trams homogenis tancats, sense entrades i sortides, a més a més de la realització de certes hipòtesis que fan que aquest mètode no es pugui aplicar en aquest cas concret.

Les ETD estan codificades de la següent manera:

- Un número d'estació igual per a dos sentits, la numeració del qual comença en la sortida de Barcelona i s'incrementa en sentit sortida.
- Un codi de tres lletres: SMS que indica estació simple o SMD que indica estació doble.
- Un número que indica el sentit: 1 en sentit sortida de Barcelona i 2 en sentit entrada a Barcelona.
- Nom de la via: B-23, AP-2 o AP-7

Els detectors es codifiquen amb una D més un número que indica la posició del carril. La numeració, contínua en tots dos sentits, comença pel carril ràpid del sentit de sortida i s'incrementa al desplaçar-se cap a la dreta. Una vegada numerats tots els carrils del sentit sortida, s'assigna el número, seguint la numeració, al carril ràpid del sentit entrada, tal com es mostra a la Figura 5.

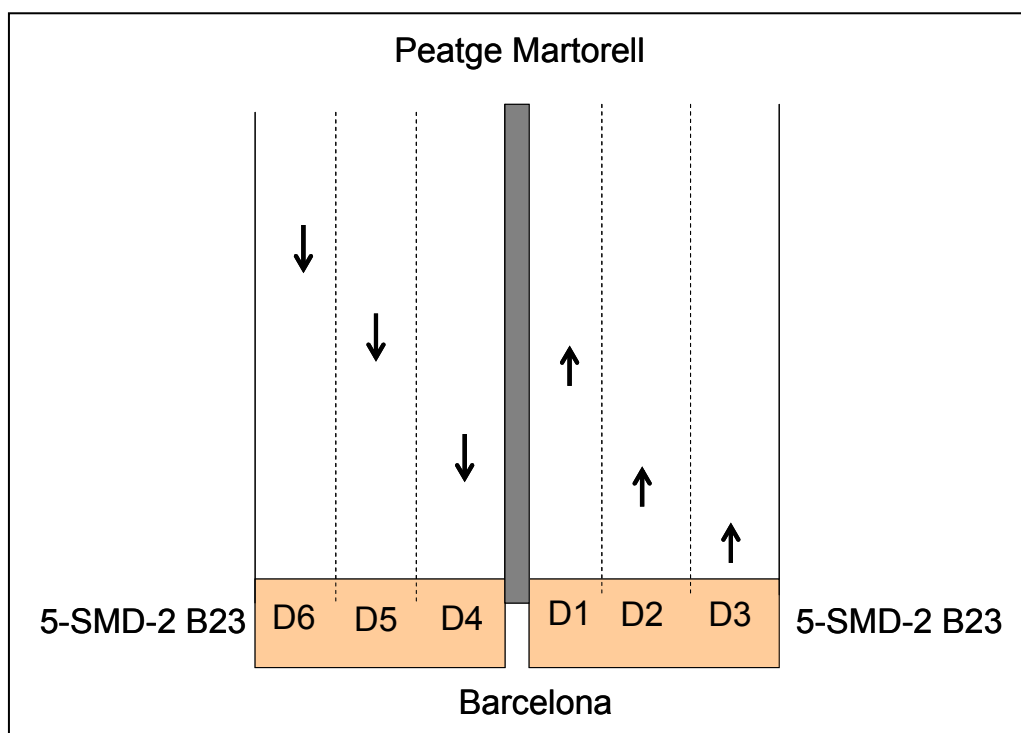


Figura 5. Esquema de la numeració dels detectors d'espina.

(Font: Elaboració pròpia)

Les dades minut a minut de trànsit de l'eix viari de la B-23, AP-2 i AP-7 han estat lliurades en format Access (.mdb). Aquest lliurament s'ha realitzat en diferents moments temporals que han significat també diferències en el contingut de les bases de dades. Finalment, s'han utilitzat les últimes dades lliurades per tal de complir totes les característiques demanades per tal de realitzar el tractament posterior.

Aquest lliurament es va realitzar el 6 de juny i compren les dades minut a minut sense depurar dels dies compresos, per a les dades d'entrada, entre el 7 de



març de 2007 a les 00:01 h i l'11 de març de 2007 a les 23:59 h i per a les dades de sortida, entre el 7 de Març de 2007 a les 00:01 h i el 13 de març de 2007 a les 23:59 h. L'estructura de la base de dades és la següent:

CARRETERA: Nom de la carretera on està ubicada la ETD - B23, AP2 o AP7.

PK: Punt quilomètric de localització de la ETD.

DETECTOR: Codi del detector de mesura. El codi està compostat pel nombre del detector i el de la ETD - D4 18-SMS-2.

DATA: Data i hora de recollida de les dades - 08/03/2007 00:32.

INTENSITAT: Nombre de vehicles registrats per minut.

VELOCITAT: Velocitat mitjana dels vehicles registrats durant 1 minut.

MODIFICAT: Camp numèric del procés d'obtenció de les dades: 1 (mesurada directament), 2 (obtinguda per procés de restitució), 3 (dada incorrecta).

VEHICLELONGITUD1 : Intensitat dels vehicles lleugers.

VEHICLELONGITUD2: Intensitat dels vehicles pesants.

Cal remarcar que degut a que no tots els detectors d'espina són dobles, no és possible obtenir les variables d'intensitat en funció de la longitud del vehicle i de velocitat en totes les ETDs i per tant, hi ha un cert grau de mancança inicial d'informació. A més a més, cal afegir que en les dades enviades faltaven dades corresponents, d'una banda, a diversos intervals temporals per a cada detector, a carrils complets durant tot l'interval temporal d'anàlisi, així com l'existència d'un conjunt d'ETDs que encara no estan operatives o es troben desmantellades per diverses raons.

3.3 MONITORITZACIÓ DE LA VIA D'ANÀLISI

3.3.1. Descripció de la via

El corredor viari objecte d'estudi discorre entre la sortida de Barcelona per la B-23 i el peatge de Martorell en l'AP-7. Si es pren la intersecció de la Av. Diagonal amb l'Av. Doctor Marañón, com a inici de l'eix, aquest té una longitud de 24,4 Km, dels quals 350 m discorren pel viari urbà de la ciutat de Barcelona i la resta, 24,1 Km per vies interurbanes amb característiques d'autopista. Es presenta a continuació una descripció de les seves principals característiques des del punt de vista viari per tal d'emmarcar i ajudar a interpretar els posteriors anàlisis que es realitzin.

El tram urbà de l'eix d'estudi està comprès entre el Km 0 de la B-23 i la intersecció de l'Av. Diagonal amb l'Av. del Doctor Marañón. Tot i ser un tram urbà i estar regulat semafòricament, presenta en gran part característiques de via ràpida. En el seu perfil es diferencia un eix troncal, continuació de la B-23 i uns eixos laterals que han de facilitar la integració dels vehicles des de carrers secundaris de la trama urbana.

L'eix troncal està format per quatre carrils de sortida i tres carrils d'entrada. En sentit entrada existeix un vial lateral de dos carrils que té el seu origen en la entrada des de la Ronda de Dalt. Sobre aquest vial es produeix la incorporació

del carrer de Torre Melina i l'Av. Doctor Marañón. Existeixen tres espais de connexió entre l'eix central i el lateral. En sentit sortida, es disposa d'un vial lateral amb una incorporació des de l'eix troncal, a l'altura de l'Av. Doctor Marañón, i dos incorporacions cap a aquest, marcant la segona d'aquestes el final del mateix vial lateral.

L'eix viari d'accés a Barcelona s'estén des del Pk 0 de la B-23 fins al peatge de Martorell, amb una llargària de 24,1 quilòmetres. Es tracta d'una via classificada d'autopista, la titularitat de la qual pertany a l'Estat Espanyol. Aquest eix viari d'estudi, tal com es representa a la Figura 6, està format per la B-23, (entre el Pk 0 i el Pk 11,2), per l'AP-2 (durant 4,4 quilòmetres entre el Pk 11,2 i el 15,6) i per l'AP-7 (durant 8,5 quilòmetres entre el Pk 163 i el Pk171,46).

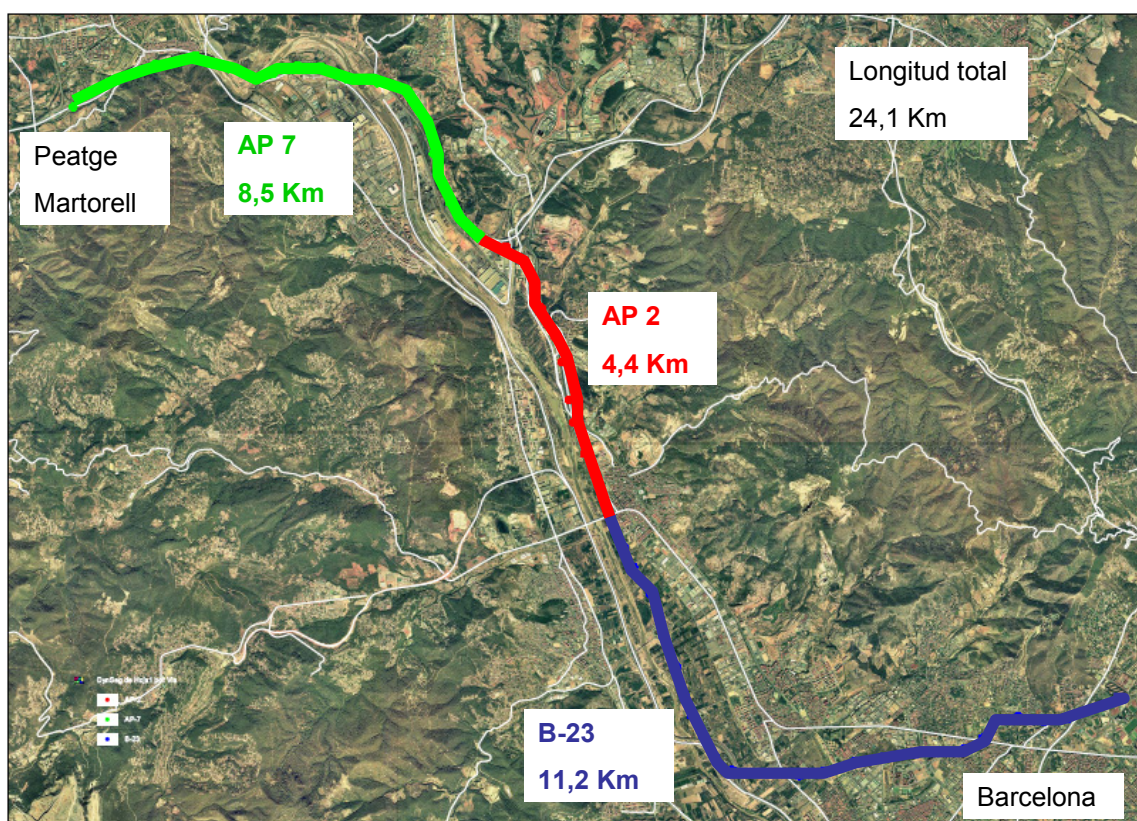


Figura 6. Esquema de l'eix viari d'anàlisi.
(Font: Elaboració pròpia)

Existeixen 8 enllaços (entrada i sortida) a l'eix i una àrea de descans. D'aquests 8 enllaços 6 es localitzen en la B-23, és a dir, en les proximitats de Barcelona, amb una separació entre elles que varia entre 500 i 2.500 metres. Una altra incorporació correspon a la intersecció de les dos autopistes, l'AP-7 i l'AP-2, i vuitena incorporació es situa a l'altura de Martorell, just abans del peatge. L'àrea de descans es situa al Pk 165 de l'AP-7. Tots aquests enllaços estan representats a la Figura 7.

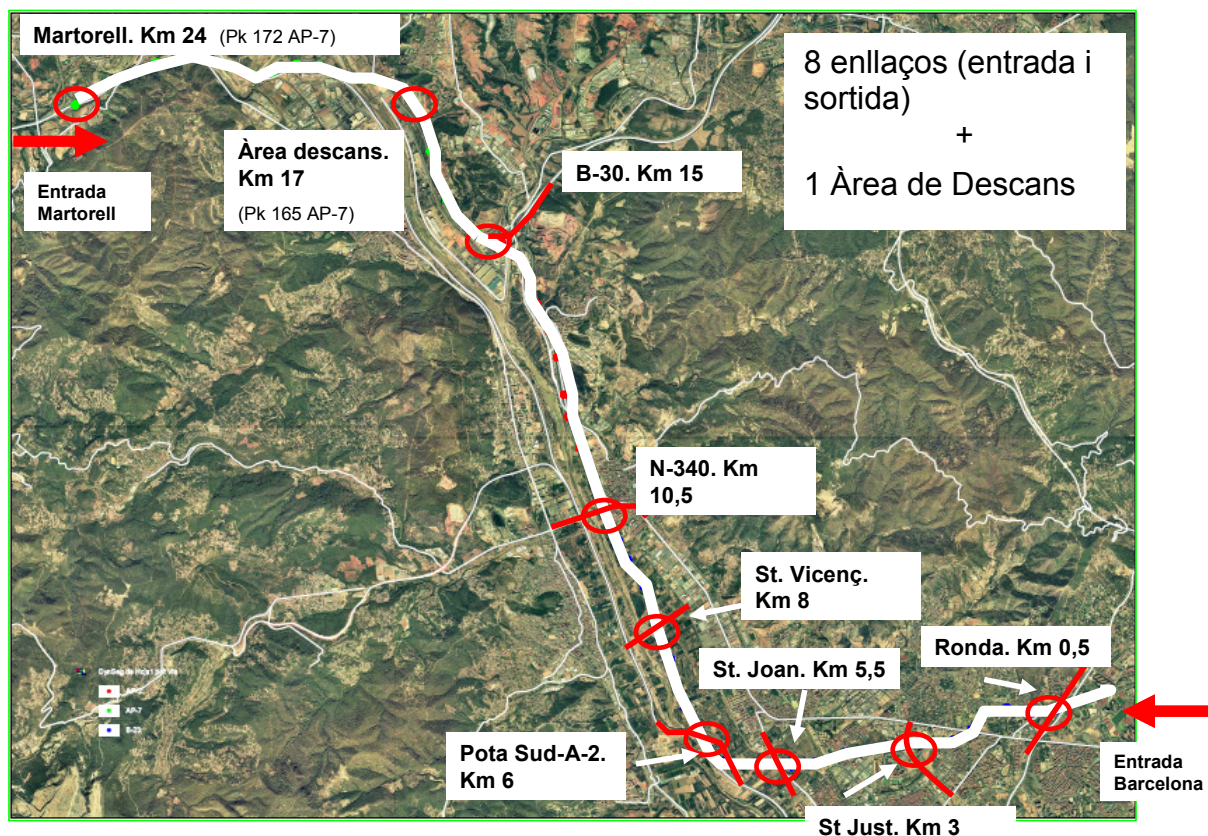


Figura 7. Esquema dels enllaços a l'eix viari d'anàlisi.

(Font: Elaboració pròpia)

La secció tipus de la via varia, tant en els seus diferents trams com segons el sentit de circulació. D'una manera general, la B-23 fins la intersecció amb la Pota Sud té una secció de 3+3 carrils. A partir d'aquesta intersecció el seu perfil canvia a 4 carrils d'entrada i 5 de sortida fins la intersecció de Sant Vicenç dels Horts, on canvia una altra vegada a un perfil de 4+4 carrils fins la intersecció amb la N-340 a Molins de Rei. En aquest punt comença l'AP-2 amb un perfil 4+4 carrils fins a la intersecció amb l'AP-7 on adopta un perfil de 3+3 carrils fins el peatge. Aquesta estructura general de la via s'altera en els trams compresos en les interseccions. Així, en la intersecció amb la Ronda de Dalt, la secció de la via es veu reduïda a 2+2 carrils. En sentit entrada a Barcelona la secció passa de tres a dos carrils en l'espai comprés entre la sortida i la incorporació de la intersecció amb la Pota Sud. Per últim, el sentit entrada a l'altura de la intersecció de l'AP-7 i l'AP-2 es veu reduït de tres a dos carrils, per una vegada superada la intersecció adoptar-ne quatre carrils. Aquestes variacions es veuen representades a la Figura 8.

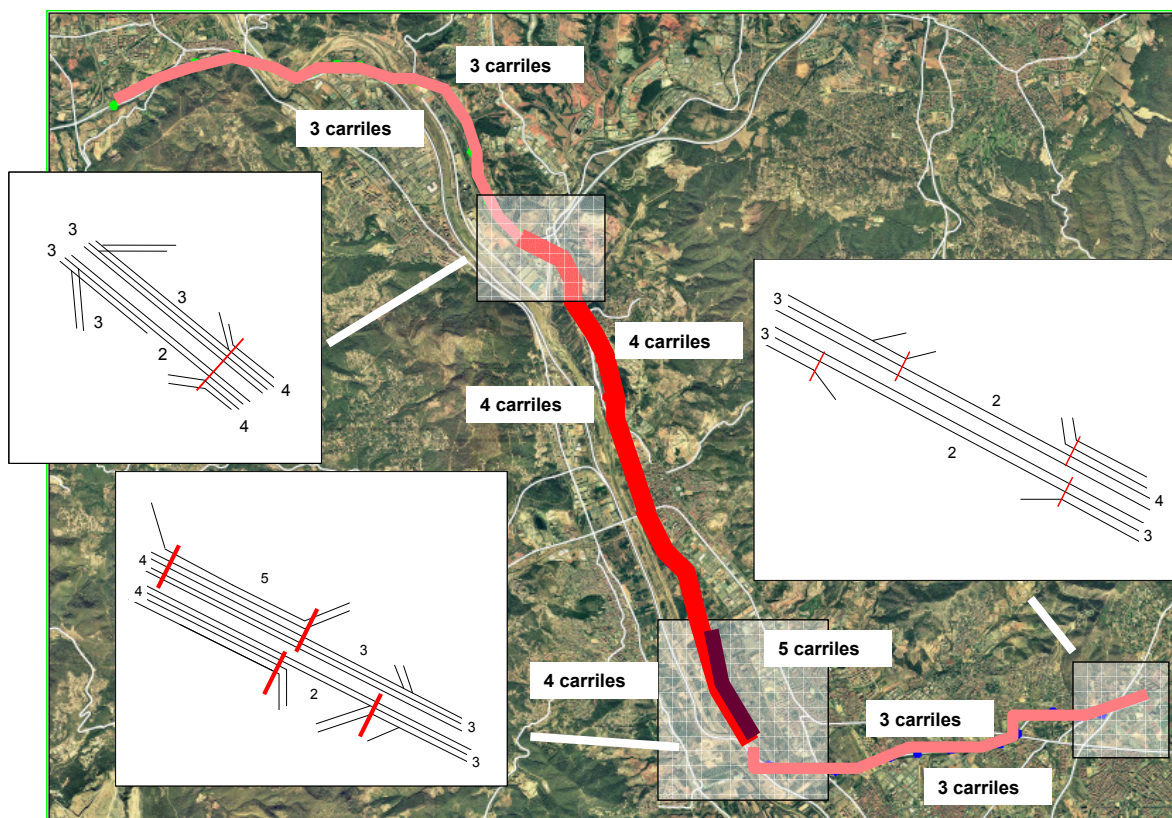


Figura 8. Esquema de la distribució general dels carrils a l'eix viari d'anàlisi.
(Font: Elaboració pròpia)

Pel que fa al trànsit de la via, i prenent com a referència les dades publicades en el Mapa de Trànsit del Ministeri de Foment, s'observa que és una via de gran circulació, amb gran part de l'eix amb IMD superior als 100.000 vehicles. Aquesta intensitat de vehicles augmenta en les proximitats de Barcelona, superant el 120.000 vehicles i disminueix en els trams de l'AP-7 fins a una IMD inferior als 90.000 vehicles.

Si es considera el nombre de pesants segons les mateixes dades del Mapa de Trànsit del Ministeri de Foment, es pot concloure que el major trànsit es produeix des del peatge de Martorell fins a la intersecció amb la Pota Sud. En aquest tram el nombre de pesants es situa en torn al 20%. Una vegada passada aquesta intersecció i fins a la ciutat de Barcelona el percentatge de pesants disminueix fins a l'11%. De les dades del mapa de trànsit es desprèn la importància de l'àrea compresa en el curs baix del Llobregat per al vehicles pesants. En aquesta àrea és on conflueixen la Ronda Litoral, l'A2 i l'accés de la Pota Sud a Barcelona, que porta l'accés al port de Barcelona, Zona Franca, i l'àrea industrial del Prat i del Baix Llobregat. És en la intersecció amb aquesta última via on la major part de vehicles pesats es desvien i deixen la B-23 per enllaçar amb l'A-2 i després la B-10.

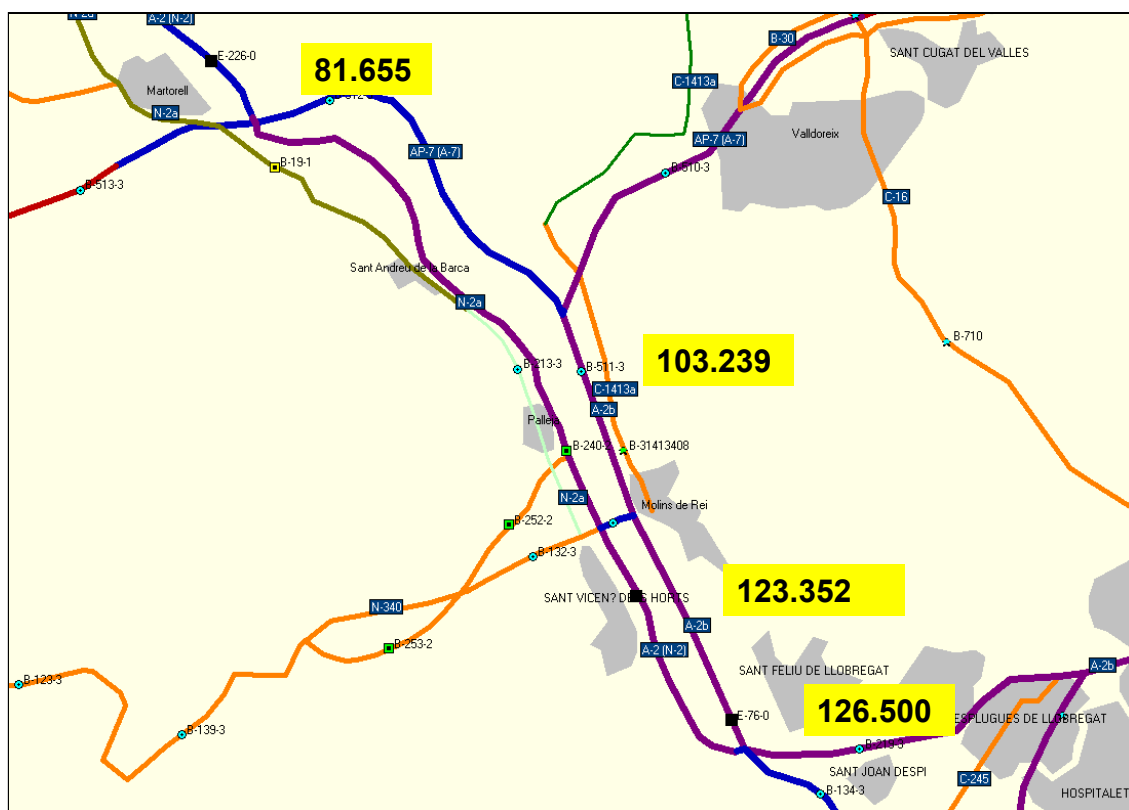


Figura 9. Esquema de la distribució del trànsit en IMD a l'eix viari d'anàlisi.
(Font: Dirección General de Tráfico, 2004)

3.3.2 Tramificació de la via

El desenvolupament del projecte requereix la definició, al llarg de tota la via de trams homogenis pel que fa a la intensitat de vehicles. Això vol dir l'establiment de trams que comparteixen característiques físiques, com número de carrils i la no existència d'enllaços en el seu interior, on no es puguin realitzar canvis en el nombre de vehicles que circulen per l'eix troncal de la via. Els diferents detectors compresos dintre de cada tram homogeni, són detectors anàlegs respecte els altres del mateix tram, amb diferent ordre depenent de la distància entre ells, ja que mantenen les mateixes característiques de flux. Al mateix temps es requereix assignar a cada tram les ETD que permetin quantificar el flux de vehicles. Per a realitzar de forma correcta la tramificació i l'assignació exacta de cada ETD per a cada tram ha estat necessari un major coneixement de les característiques de la via, que el que s'ha pogut obtenir a partir de la informació facilitada pel Servei Català de Trànsit.

Un element de màxima importància per a la definició dels trams és la determinació exacta dels detectors en relació a les sortides i entrades. La informació proporcionada pel Servei Català de Trànsit no ha permès determinar de forma precisa la seva localització, existint elements poc clars o contradictoris.

Com a forma de comprovar els dubtes existents es van realitzar un reconeixement visual de la via en tot dos sentits de circulació (recorregut d'anada i de tornada), resseguint les indicacions de la base de dades del Servei

Català de Trànsit sobre el terreny i identificant sobre el número i la posició de l'arqueta, així com la seva posició relativa sobre la secció transversal i els carrils de sortida/entrada.

Així es van detectar les velocitats límits actuals en els dos sentits, tal com es mostra a la Figura 10, i l'existència de detectors que no cobreixen el carril de sortida/entrada, mancant així dades d'aquelles seccions:

- ETD 25 ambdós sentits
- ETD 26 ambdós sentits
- ETD 32 sentit entrada Barcelona
- ETD 40, ETD 41 i ETD 42 situades sobre carril d'entrada amb doble línia contínua/discontinua.

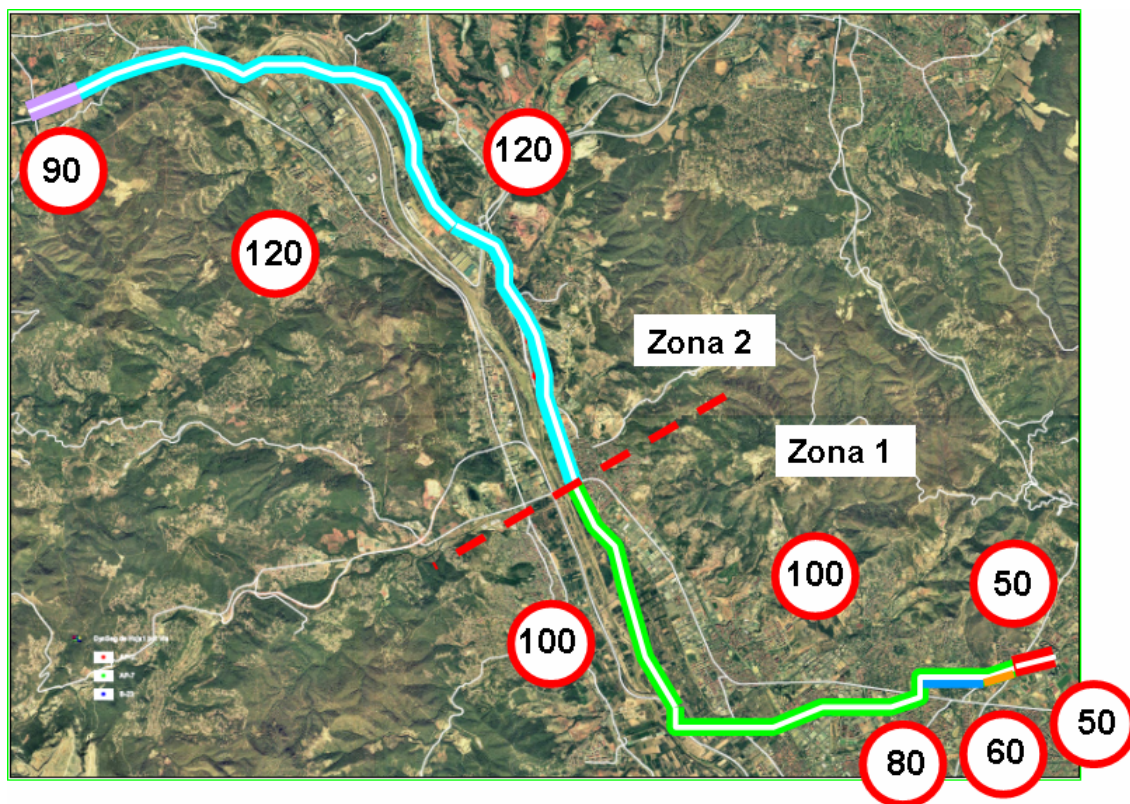


Figura 10. Representació de la velocitat límit existent en la tramificació.
(Font: Elaboració pròpia)

També es va poder definir amb major precisió l'estructura de determinats llocs puntuals de la via que presentaven certa confusió, com la intersecció de la N-340 a Molins de Rei, on es va localitzar una sortida (aprox. PK 12) no contemplada en els esquemes facilitats pel Servei Català de Trànsit, o un tram existent entre la intersecció amb la Pota Sud i la sortida/entrada de Sant Joan Despí, on la interpretació dels esquemes de les entrades i sortides del Servei Català de Trànsit resultava confús.

Tenint en compte tota la informació disponible i considerant els trams homogenis existents entre les rampes de sortida i/o entrada en cadascun dels sentits s'han definit 40 trams diferents, 17 en sentit sortida i 23 en sentit entrada



a Barcelona. Els trams han estat codificats amb números senars els de sentit sortida de Barcelona i parells els de sentit entrada, començant la numeració, en tots dos casos a l'inici de la via a Barcelona.

Bàsicament es tracta de trams definits, com ja s'ha indicat, per l'espai existent entre les rampes de sortida/entrada. Aquesta norma general no s'ha seguit en determinats casos:

- En el tram 7 s'ha considerat que la distància de les dos entrades existents, una des de la Ronda de Dalt i una altra des d'Esplugues, per la curta distància existent entre elles i la manca d'estació de mesurament entre elles, han de ser considerades com una sola.
- En el tram 36, s'ha considerat la necessitat de dividir el tram existent, entre la sortida i l'entrada cap de la intersecció del Papiol, ja que es produeix un canvi de secció (es passa de 3 a 2 carrils).

Aquesta informació obtinguda es presenten a continuació quatre figures. A les Figura 11 i 12 es presenten, per a cada tram de la via, la via on es localitza, el sentit de circulació, el Pk d'inici i el Pk final, la velocitat límit i la longitud de cada tram tenint en compte que la numeració dels PK varia a l'AP-7, tenint-se que realitzar una reconversió d'aquests PK respecte dels PK de la B-23. A la Figura 13 es presenta per a cada tram les ETDs que li pertanyen i a la Figura 14 es representa en un mapa el perfil de la via, els diferents trams, els enllaços, la localització de les ETDs i els punts quilomètrics.

TRAM	SENTIT	Pki	VIA	PKf	VIA	Longitud (Km)	Velocitat Límit
1	1	-0,35	DIAGONAL	-0,2	DIAGONAL	0,15	50
3	1	-0,2	DIAGONAL	0,32	B23	0,52	50
5	1	0,32	B23	1,15	B23	0,83	100
7	1	1,15	B23	2,88	B23	1,73	100
9	1	2,88	B23	3,56	B23	0,68	100
11	1	3,56	B23	5,17	B23	1,61	100
13	1	5,17	B23	7,19	B23	2,02	100
15	1	7,19	B23	8,25	B23	1,06	100
17	1	8,25	B23	8,87	B23	0,62	100
19	1	8,87	B23	10	B23	1,13	100
21	1	10	B23	11,2	B23	1,2	100
23	1	11,2	AP2	14,3	AP2	3,1	120
25	1	14,3	AP2	163,9	AP7	2,21	120
27	1	163,9	AP7	165,05	AP7	1,15	120
29	1	165,05	AP7	165,67	AP7	0,62	120
31	1	165,67	AP7	170,885	AP7	5,215	120
33	1	170,885	AP7	171,46	AP7	0,575	90

Figura 11. Velocitat i longitud de la tramificació en sentit sortida de Barcelona.
(Font: Elaboració pròpia)



TRAM	SENTIT	Pki	VIA	PKf	VIA	Longitud (Km)	Velocitat Límit
2	2	-0,2	DIAGONAL	-0,35	DIAGONAL	0,15	50
4	2	0,35	B23	-0,2	DIAGONAL	0,55	50
6	2	1	B23	0,35	B23	0,65	60
8	2	1,4	B23	1	B23	0,4	80
10	2	2,88	B23	1,4	B23	1,48	100
12	2	3,56	B23	2,88	B23	0,68	100
14	2	5,3	B23	3,56	B23	1,74	100
16	2	5,8	B23	5,3	B23	0,5	100
18	2	6,22	B23	5,8	B23	0,42	100
20	2	7,24	B23	6,22	B23	1,02	100
22	2	8,29	B23	7,24	B23	1,05	100
24	2	8,76	B23	8,29	B23	0,47	100
26	2	9,8	B23	8,7	B23	1,1	100
28	2	10	B23	9,8	B23	0,2	100
30	2	10,9	B23	10	B23	0,9	100
32	2	12	AP2	10,9	B23	1,1	120
34	2	14,06	AP2	12	AP2	2,06	120
36	2	14,6	AP2	14,06	AP2	0,54	120
38	2	163,05	AP2	14,6	AP2	1,06	120
40	2	165	AP7	163,05	AP7	1,95	120
42	2	165,65	AP7	165	AP7	0,65	120
44	2	170,93	AP7	165,65	AP7	5,28	120
46	2	171,46	AP7	170,93	AP7	0,53	120

Figura 12. Velocitat i longitud de la tramificació en sentit entrada a Barcelona.
(Font: Elaboració pròpia)



TRAM	ETD									
5	4-SMS-1 B23	3-SMD-1 B23								
7	5-SMD-1 B23	7-SMS-1 B23	8-SMS-1 B23							
9	9-SMD-1 B23	10-SMS-1 B23								
11	11-SMS-1 B23	12-SMD-1 B23	13-SMS-1 B23	14-SMD-1 B23						
13	15-SMS-1 B23	16-SMD-1 B23	17-SMD-1 B23	18-SMS-1 B23						
15	19-SMD-1 B23	20-SMS-1 B23	21-SMD-1 B23							
17	22-SMS-1 B23									
19	24-SMD-1 B23	25-SMS-1 B23								
21	26-SMD-1 B23	27-SMD-1 B23	28-SMS-1 B23							
23	30-SMD-1 AP-2	31-SMD-1 AP-2	32-SMS-1 AP-2	33-SMD-1 AP-2	34-SMS-1 AP-2	34-SMD-3 AP-2				
25	36-SMD-1 AP-2	37-SMS-1 AP-2	38-SMD-1 AP-2	39-SMS-1 AP-7	40-SMD-1 AP-7	41-SMD-1 AP-7				
27	42-SMS-1 AP-7	43-SMD-1 AP-7								
29	44-SMD-1 AP-7	46-SMD-1 AP-7								
31	47-SMS-1 AP-7	48-SMD-1 AP-7	50-SMD-1 AP-7	51-SMS-1 AP-7	52-SMD-1 AP-7	53-SMS-1 AP-7	54-SMD-1 AP-7	55-SMS-1 AP-7	57-SMD-1 AP-7	58-SMD-1 AP-7
33	59-SMS-1 AP-7									
6	3-SMD-2 B23									
8	4-SMS-2 B23									
10	5-SMD-2 B23	7-SMS-2 B23	8-SMS-2 B23							
12	9-SMD-2 B23	10-SMS-2 B23								
14	11-SMS-2 B23	12-SMD-2 B23	13-SMS-2 B23	14-SMD-2 B23						
16	15-SMS-2 B23									
18	16-SMD-2 B23									
20	17-SMS-2 B23	18-SMS-2 B23								
22	19-SMD-2 B23	20-SMS-2 B23	21-SMD-2 B23							
24	22-SMS-2 B23									
26	24-SMD-2 B23									
28	25-SMS-2 B23									
30	26-SMD-2 B23	27-SMD-2 B23								
32	28-SMS-2 B23	30-SMD-2 AP-2	31-SMD-2 AP-2							
34	32-SMS-2 AP-2	33-SMD-2 AP-2	34-SMS-2 AP-2	34-SMD-4 AP-2						
36	36-SMS-2 AP-2									
38	37-SMD-2 AP-2	38-SMD-2 AP-2	39-SMS-2 AP-7							
40	40-SMD-2 AP-7	41-SMD-2 AP-7	42-SMS-2 AP-7	43-SMD-2 AP-7						
42	44-SMD-2 AP-7	46-SMS-2 AP-7								
44	47-SMD-2 AP-7	48-SMD-2 AP-7	50-SMS-2 AP-7	51-SMD-2 AP-7	52-SMS-2 AP-7	53-SMD-2 AP-7	54-SMS-2 AP-7	55-SMD-2 AP-7	57-SMS-2 AP-7	58-SMD-2 AP-7

Figura 13. Conjunt de ETDs de cada tram en els dos sentits de circulació col·locats per ordre d'analogia entre ells.
(Font: Elaboració pròpia)

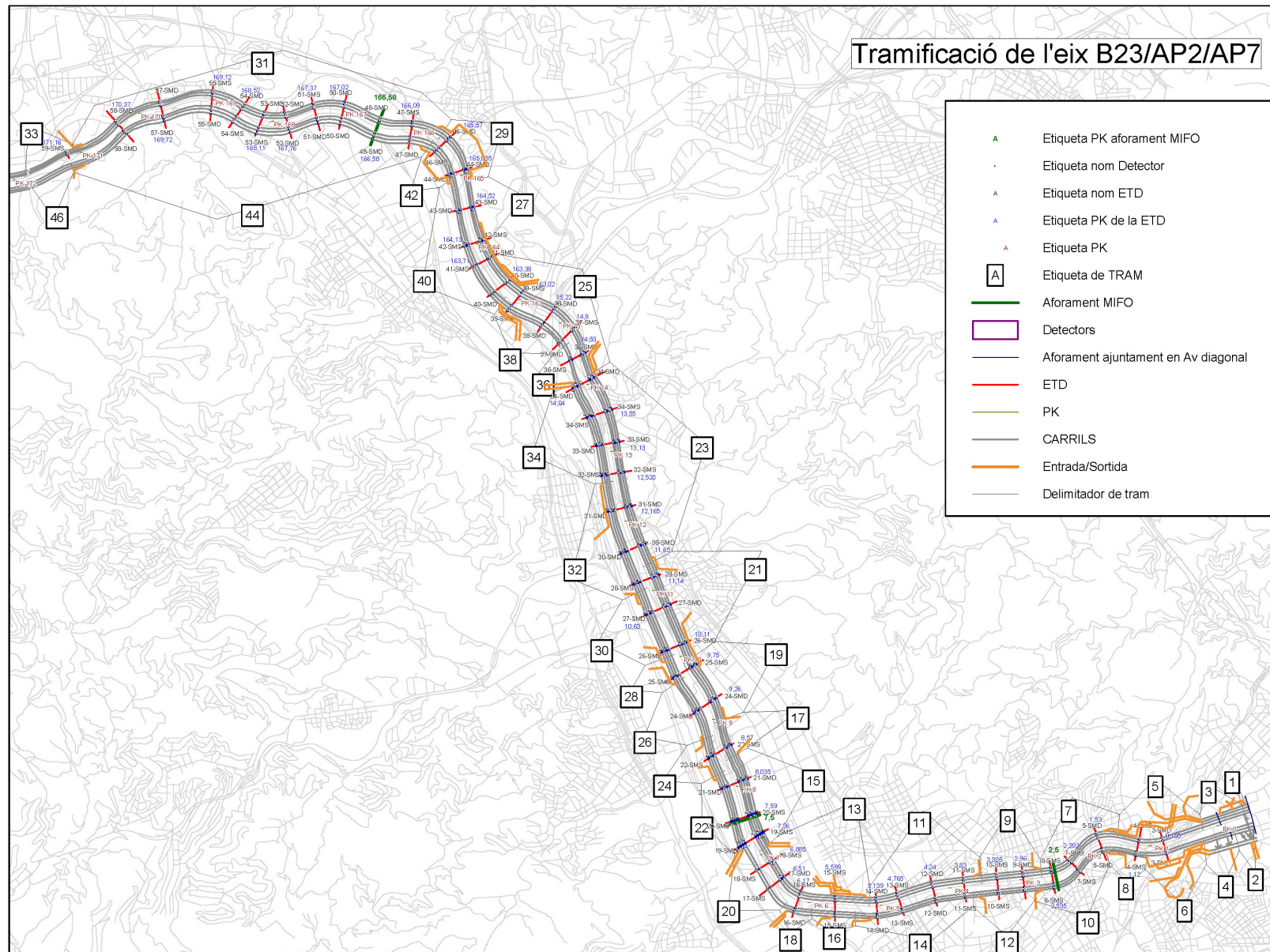


Figura 14. Tramificació de l'eix viari B-23, AP-2 i AP-7. (Font: Elaboració pròpia)



4. METODOLOGIA DE TRACTAMENT DE DADES

4.1 VALIDACIÓ DE LES DADES

Per tal que sigui possible la determinació de l'estat del trànsit en cada instant de temps, és necessari que les dades disponibles siguin dades admissibles corresponents a les variables d'estudi, i per tant, compleixin unes condicions bàsiques.

D'aquesta manera, un cop obtingudes les dades, el següent procés és verificar si les dades són correctes, o pel contrari són defectuoses i no utilitzables, ja que és possible que durant el procés de captació de les dades pels detectors d'espira, es produeixin situacions en les que les dades enregistrades no representin la realitat. Evidentment, si es coneix prèviament que hi ha alguna avaria en els detectors d'espira, cal descartar l'interval de temps d'averies en la base de dades.

A continuació es detallen els criteris que determinaran la bondat de les dades d'estudi. Per la variable velocitat s'estableixen els següents límits:

$$a) \quad 0 < v_{i,t}^c \leq 180 \text{ Km/h} \quad [15]$$

On: i Referència del detector d'estudi
 t Interval de temps d'estudi
 c Carril al que pertany el detector d'estudi

On, lògicament, es consideren només les velocitats positives, no tenint en compte les velocitats negatives corresponents a errors (o vehicles circulant en direcció contrària). Així mateix s'estableix un límit superior de 180 Km/h per considerar-se en mitjana una velocitat suficientment elevada en un carril durant l'interval d'estudi d'1 minut. A més a més, es consideren com a no vàlides les velocitats nul·les, ja que poden ser degudes a una aturada del detector o a que no passi cap vehicle, amb el que la velocitat corresponent a aquesta situació no seria la nul·la, sinó la corresponent a la velocitat de flux lliure.

$$b) \quad 0,5 \cdot v_{i,t}^{c*} \leq v_{i,t}^c \leq 1,5 \cdot v_{i,t}^{c*} \quad \text{amb} \quad v_{i,t}^{c*} \neq 0 \quad [16]$$

Aquest límit estableix que entre els diversos carrils de cada secció no hi pot haver una diferència major al 50% dels seus valors de velocitat. En aquesta limitació no s'avaluaran els valors nuls de velocitat, considerant-se no vàlids, ja que provocaria que tota la secció fos no vàlida.

$$c) \quad 0,5 \cdot v_{i,t-1}^c \leq v_{i,t}^c \leq 1,5 \cdot v_{i,t-1}^c \quad \text{amb} \quad v_{i,t}^c \neq 0 \quad [17]$$

Anàlogament, aquest límit estableix que entre un carril d'una secció i el seu valor anterior en el temps no pot haver una diferència major que el 50% del



valor de la velocitat del carril ($v_{i,t}^c$). En aquesta limitació tampoc s'avaluaran els valors no vàlids de velocitat.

Per a la variable intensitat s'estableixen els següents límits:

$$a) \quad 0 < q_{i,t}^c \leq 2700 \text{ veh./h} \cdot \text{carril} \quad [18]$$

On, lògicament, es consideren només les intensitats positives i on el límit superior correspon a una situació sota condicions ideals per vies d'accés a grans ciutats, incloent un bon estat del paviment, un bon estat de la via i bones condicions climàtiques.

En conseqüència, s'obté el següent interval de filtrat pels valors del número total de vehicles detectats per cada detector d'espina durant l'interval d'estudi de 1 minut:

$$0 \leq q_{i,t} \leq 45 \text{ veh./min} \cdot \text{carril} \quad [19]$$

$$b) \quad q_{i,t}^{c \neq c} - 15 \text{ veh./min} \cdot \text{carril} \leq q_{i,t}^c \leq q_{i,t}^{c \neq c} + 15 \text{ veh./min} \cdot \text{carril} \quad [20]$$

Aquest límit estableix que els diversos carrils de cada secció no poden tenir una diferència major de 15 veh/min·carril.

$$c) \quad q_{i,t-1}^c - 15 \text{ veh./min} \cdot \text{carril} \leq q_{i,t}^c \leq q_{i,t-1}^c + 15 \text{ veh./min} \cdot \text{carril} \quad [21]$$

Anàlogament, aquest límit estableix que entre un carril d'una secció i el seu valor anterior en el temps no pot haver-hi una diferència major de 15 veh/min·carril. Aquests increments temporals suposarien passar d'una situació buida de la via a una situació de màxima capacitat en uns 3 minuts.

Per a la dissociació de la variable intensitat corresponent al tipus de vehicle (pesant o lleuger) es comprova que cada valor sigui igual o menor al de la intensitat total i que la seva suma es correspongui amb el valor de la intensitat total.

A més a més de les limitacions anteriors, és necessari validar les variables segons certes relacions entre elles mitjançant la teoria de flux de trànsit (Maerivoet and De Moor, 2005), considerant per exemple la relació mostrada en la Figura 15.

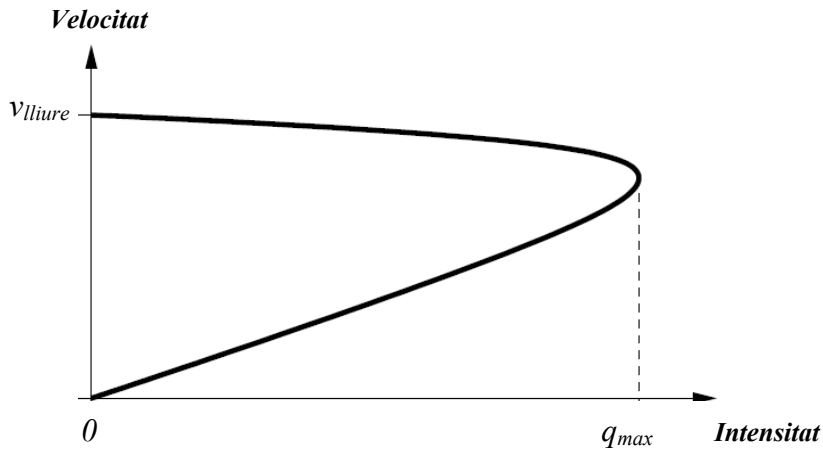


Figura 15. Relació entre intensitat i velocitat de trànsit.
(Font: Maerivoet and De Moor, 2005)

Aquesta relació es pot traduir a les característiques de l'estudi a partir del Highway Capacity Manual (2000), on es considera una velocitat de flux lliure (v_{lliure}) constant fins q_{lliure_max} per anar disminuint progressivament fins q_{max} , on es produeix la capacitat màxima, segons les expressions que es mostren a continuació:

$$q_{lliure_max} = 3100 - 15 \cdot v_{lliure} = 400 \text{ veh./h} \cdot \text{carril} \quad [22]$$

$$v = v_{lliure} - \left[\frac{1}{28} \cdot (23 \cdot v_{lliure} - 1800) \cdot \left(\frac{q + 15 \cdot v_{lliure} - 3100}{20 \cdot v_{lliure} - 1300} \right)^{2,6} \right] \quad [23]$$

Aquestes expressions corresponen a límits superiors que ens permeten descartar dades anòmales. A més a més, es té en compte una limitació inferior existent per la relació d'estudi entre intensitat i velocitat, que s'obté la següent expressió a partir dels valors obtinguts en la teoria de flux de trànsit (Maerivoet and De Moor, 2005).

$$v_{i,t} \geq 0,021 \cdot q_{i,t} \quad [24]$$

Aquestes expressions i la seva evolució es poden observar en la Figura 16.

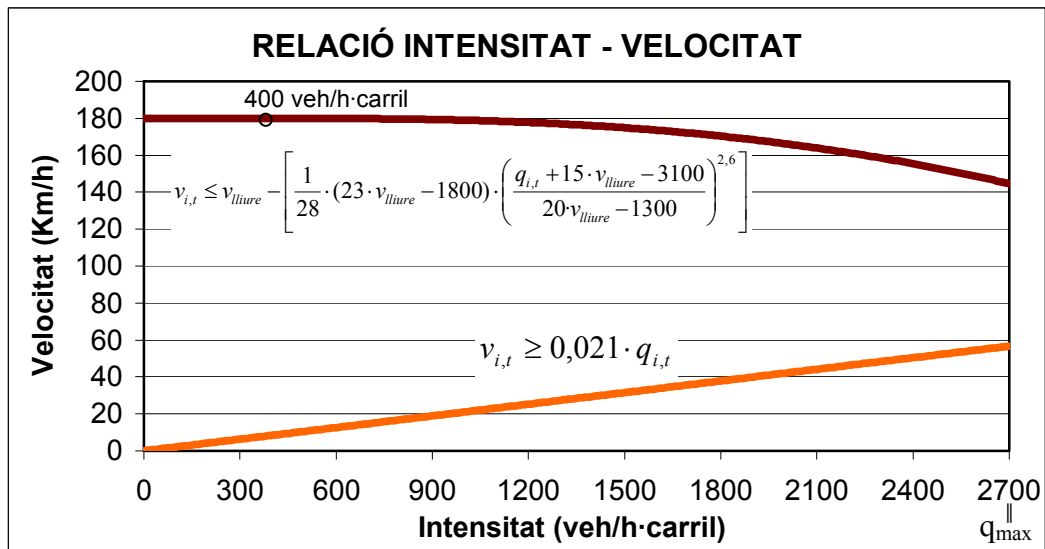


Figura 16. Relacions fictícies entre intensitat i velocitat considerades com a expressions límit.

(Font: Elaboració pròpia)

Per tant, s'estableixen les següents limitacions en les dades dels detectors d'espira:

$$v_{i,t} \geq 0,021 \cdot q_{i,t} \quad [25]$$

$$v_{i,t} \leq v_{lliure} - \left[\frac{1}{28} \cdot (23 \cdot v_{lliure} - 1800) \cdot \left(\frac{q_{i,t} + 15 \cdot v_{lliure} - 3100}{20 \cdot v_{lliure} - 1300} \right)^{2,6} \right] \quad [26]$$

Notar que en les expressions de la [22] a la [26] la variable intensitat ha de tenir unitats de vehicles/hora i no vehicles/minut·carril com les que es disposen.

Si les dades obtingudes no verifiquen les condicions especificades anteriorment per cada variable, les dades es consideraran no vàlides i seran eliminades dels fitxers de dades per un tractament futur.

4.2 AGREGACIÓ DE LES DADES

Un cop s'han validat les dades obtingudes directament dels detectors d'espira (dades minut a minut per a cada carril), es procedeix a la seva agregació per l'obtenció de dades corresponents a cada secció de la via (conjunt de tots els carrils en cada sentit) i en intervals de 3 minuts de temps.

Agregació espacial

Inicialment es procedeix a la agregació espacial de les dades, agrupant-les en dades per secció de mesura en intervals de temps d'1 minut, de manera que el valor resultant sigui característic la secció en qüestió. Per aquest procés s'utilitzen les expressions especificades a continuació.



Els valors de la intensitat s'agreguen al total de la secció mitjançant la utilització d'una mitjana ponderada en funció del número de carrils i la quantitat de dades acceptables.

$$\hat{Q}_{i,t} = \frac{c_i \cdot \sum_{j=1}^{c_{i,t}^{adm}} q_{i,t}^j}{c_{i,t}^{adm}} \quad [27]$$

On: c_i es el número de carrils de la calçada principal de la carretera en la secció i per a un determinat sentit.
 $c_{i,t}^{adm}$ es el número de carrils de la calçada principal de la carretera en la secció i amb dades admissibles durant l'interval t .

Els valors de velocitat s'agreguen al total de la secció mitjançant la utilització d'una mitjana pesada, al tractar-se de un paràmetre sensible a la població de vehicles detectats. La funció pes considerada en aquest cas correspon a la intensitat.

$$\hat{V}_{i,t} = \frac{\sum_{j=1}^{c_{i,t}^{adm}} \left(v_{i,t}^j \cdot q_{i,t}^j \right)}{\sum_{j=1}^{c_{i,t}^{adm}} q_{i,t}^j} \quad [28]$$

Agregació temporal

Un cop realitzada l'agregació espacial de les dades, es realitza l'agregació temporal de les dades resultants, obtenint així els valors per cada secció de control en intervals de temps de 3 minuts.

Els valors de la intensitat s'agreguen al interval de 3 minuts mitjançant la utilització d'una mitjana ponderada en funció del número dades disponibles (3 dades) i admissibles.

$$Q_{i,t} = \frac{3 \cdot \sum_{s=t}^{t-3} \hat{Q}_{i,s}}{n_{i,s}^{adm}} \quad [29]$$

On: $n_{i,s}^{adm}$ es el número de dades admissibles del detector d'espira i en l'interval de temps de 3 minuts.

Els valors de velocitat s'agreguen a l'interval de 3 minuts mitjançant la utilització d'una mitjana pesada, perquè es tracta de un paràmetre sensible a la població de vehicles detectats. La funció pes considerada en aquest cas, al igual com en el cas de l'agregació espacial, correspon a la intensitat.



$$V_{i,t} = \frac{\sum_{s=t}^{t-3} \left(\hat{Q}_{i,s} \cdot \hat{V}_{i,s} \right)}{\sum_{t=1}^{n_{i,t}^{adm}} \hat{Q}_{i,s}} \quad [30]$$

Aquests algorismes, tant per a l'agregació temporal com per espacial, es poden utilitzar en totes les situacions, tant si el fitxer de dades està complet com si està incomplet per qualsevol motiu, obtenint així una primera millora de les dades disponibles.

4.3 REGENERACIÓ DE LES DADES

Per a l'estimació de les condicions de trànsit, és necessària l'obtenció d'uns valors coherents de les variables que hi intervenen per tots els instants de temps i per tots els detectors de la via d'estudi. No obstant, es possible que es produeixin situacions en les que sigui necessari regenerar dades per varis motius.

D'una banda, pot ser que el fitxer de dades obtingut per cada detector d'espira estigui incomplet, ja sigui per motius de manteniment, d'interrupció de l'electricitat, etc. En aquest cas serà necessari regenerar dades per aquests períodes. D'altra banda, si generalment per motius de software, els equips d'obtenció de dades estan produint un error major al màxim establert com a assumible, serà necessari regenerar les dades des de l'última verificació correcta. Finalment, si per el procés de validació de dades s'obté que hi ha dades considerades com a incorrectes, serà necessària la seva regeneració, sempre que es tingui en compte que aquestes dades no pertanyen a situacions especials que poden explicar comportaments de trànsit anormals.

El procés de regeneració de dades està basat en la utilització de les dades emmagatzemades disponibles per tots els detectors d'espira, durant els períodes de temps analitzats.

Es consideren quatre metodologies d'obtenció de dades regenerades:

- a) Mètode de Correlació (dades del mateix temps i diferent detector)

Aquest mètode es basa en la correlació entre les dades obtingudes en un detector i la resta de detectors de la via durant el mateix període de temps.

- b) Mètode Estadístic (dades del mateix detector, mateix interval temporal i diferent temps - històrics)

Aquest mètode consisteix en l'estimació de les dades mitjançant l'extracció del valor mitjà per al mateix interval temporal del dia a partir d'un subconjunt de dades històriques disponibles del detector d'espira requerit, generalment corresponent a 4 setmanes anteriors.



- c) Mètode de Substitució (dades d'un altre interval temporal i mateix detector)

Aquest mètode es basa en la substitució de les dades per altres dades comparables del mateix detector, però d'un interval de temps anterior en el dia i amb el mateix comportament de trànsit.

- d) Mètode de Daganzo (dades d'altres detectors en el mateix interval temporal i dades històriques)

Aquest mètode consisteix en la identificació de la situació de trànsit per a la regeneració de les dades a partir de les dades d'altres detectors en el mateix període de temps mitjançant un estudi de correlacions i la utilització de les dades històriques disponibles del mateix detector d'espira. En conseqüència, es un mètode més sofisticat, amb un major cost computacional, que combina una evolució del Mètode de Correlació i del Mètode Estadístic, tenint com hipòtesis que la matriu de viatges d'origen i destí està normalment distribuïda, i que els temps de viatge dintre d'una secció i un interval de temps considerat es mantenen constants.

S'utilitzarà una metodologia o una altra en funció de les característiques de les dades a generar i l'exactitud que proporcionen. En la pràctica serà necessari regenerar dades corresponents a detectors d'espira durant un cert interval de temps, en el que també pot succeir que tampoc es tinguin dades d'altres detectors, variant el rang d'aplicabilitat de les diferents metodologies.

A partir de l'anàlisi efectuat en Robusté et al. (1999), el Mètode de Correlació proporciona els millors resultats, seguit molt a prop del Mètode Estadístic i del Mètode de Daganzo. El Mètode de Substitució presenta la desviació estàndard més baixa de tots els mètodes, però l'error mitjà es més alt, en termes generals, que per la resta de casos.

Per tant, el mètode recomanat per regenerar dades d'un detector d'espira serà una combinació lineal del Mètode Estadístic i el Mètode de Correlació, degut a que no sempre es pot aplicar un únic mètode per la falta de dades existents en els arxius resultants dels detectors d'espira.

D'aquesta manera, en la reconstrucció s'utilitzaran els algorismes concrets proposats a continuació per a cada situació, corresponents a una adaptació dels mètodes presentats.

La primera regeneració, corresponent al Mètode Estadístic, consisteix en una regressió lineal simple amb els valors de les variables durant un interval de temps immediatament anterior de 15 minuts (5 intervals de temps de 3 minuts). Per poder implementar aquesta regeneració, es necessari que almenys un dels 5 valors utilitzats siguin dades existents no reconstruïdes.

$$x_{i,t}^{Est-1} = a \cdot y + b = 6 \cdot a + b \quad [31]$$



On: $x_{i,t}^{Est-1}$ es el valor de la variable x obtingut mitjançant la regressió dels 5 intervals de temps de 3 minuts immediatament anteriors.
 a, b son els valors obtinguts en la regressió lineal simple pels 5 intervals de temps de 3 minuts immediatament anteriors.

La segona regeneració consisteix en buscar un període anàleg durant l'interval d'estudi en la mateixa secció de mesura. En conseqüència, és necessari definir com s'estableixen les analogies entre les diferents situacions de trànsit. Es considerarà una situació anàloga, quan de 20 valors immediatament anteriors de les variables, almenys 10 valors difereixen entre si respecte a la situació a reconstruir menys del 20% o 20 Km/h per velocitats i 20 veh/3min per intensitats.

En aquesta situació, el valor reconstruït és el corresponent a la mitjana dels valors posteriors als 20 valors analitzats que compleixen la condició anterior i es genera mitjançant la següent expressió:

$$x_{i,t}^{Est-2} = \frac{\sum_{s=t}^{(t-20)*} x_{i,s}}{m_i} \quad [32]$$

On: $x_{i,t}^{Est-2}$ es el valor de la variable x obtingut mitjançant la regeneració 2.
 m_i es el número de valors que compleixen la comparació.

La tercera regeneració consisteix en considerar que els detectors amb màxima correlació entre si son els situats aigües a baix i aigües a dalt de cada secció de control, tal com succeeix amb el Mètode de Correlació en la majoria dels casos. En conseqüència es substitueix directament el valor de la variable de la secció anàloga pel mateix interval de temps, tenint en compte un estudi previ sobre la viabilitat de aquest procés.

En aquest estudi previ, es determinen a priori un conjunt de trams físics al llarg de la via d'estudi, que comparteixen característiques físiques com número de carrils i la no existència d'enllaços en el seu interior, ja que ocasionen variacions en el flux. Aquests trams es poden observar a la Figura 13 de l'apartat anterior.

Per tant, com a valor de la dada regenerada es considera el valor de la dada del mateix interval de temps en la secció de el seu tram més proper, o en el seu defecte la següent si en el més proper tampoc existís aquesta dada, i així anàlogament per a tots els detectors de cada tram.

4.4 OBTENCIÓ DE PATRONS

En aquest apartat es realitzen tres processos per obtenir els patrons definitius.



Inicialment es realitza una agregació temporal als valors de cada variable, obtenint valors corresponents a intervals de 15 minuts. Per aquesta agregació s'utilitzen les mateixes fórmules per a cada variable que en la primera agregació temporal realitzada.

A continuació es realitza una agregació espacial dels valors, de manera que s'obtenen dades agregades cada 15 minuts per tram d'estudi (conjunt de detectors segons la figura 4), no per secció de mesura. No obstant en aquest pas es realitzen unes comprovacions abans d'agregar directament per poder verificar que realment els trams considerats tenen un comportament homogeni de trànsit.

Per tant, es realitzen les següents comprovacions:

$$|Q_{i,t} - Q_{i^*,t}| < 200 \text{ veh/15 min} \quad [33]$$

Entre dos seccions pertanyents al mateix tram, no pot haver-hi una diferència en intensitats major a 200 veh/15min.

$$|V_{i,t} - V_{i^*,t}| < 30 \text{ Km/h} \quad [34]$$

Entre dos seccions pertanyents al mateix tram, no pot haver-hi una diferència en velocitats major a 30 Km/h.

Les variables es calculen, en aquest cas, en funció del número de valors de cada tram i dependent del número de patrons per tram.

$$X_{i,t} = \frac{\sum_{j=1}^{p_{i,t}^{adm}} x_{i,t}}{p_{i,t}^{adm}} \quad [35]$$

On: $p_{i,t}^{adm}$ es el número de valors admissibles per cada patró de cada tram inicial.

Finalment, es realitza un procés d'agregació temporal de patrons en cicles. Es consideren 5 tipus de cicles per tenir un comportament de trànsit diferent dintre de cada un, no essent recomanable barrejar els valors de cada un per a la regeneració de dades. El primer correspon als dies laborables de dimarts a dijous, el segon als divendres i el tercer als dissabtes, el quart als diumenges i el cinquè als dilluns.

Per tal de poder realitzar aquesta agregació es comprovaran les mateixes condicions que en el cas anterior, però associades a la variable temporal:

$$|Q_{i,t} - Q_{i,t^*}| < 200 \text{ veh/15 min} \quad [36]$$



Entre dos valors del mateix instant de temps pertanyents al mateix cicle, no pot haver-hi una diferencia en intensitats major a 200 veh/15min.

$$|V_{i,t} - V_{i,t*}| < 30 \text{ Km/h} \quad [37]$$

Entre dos valors del mateix instant de temps pertanyents al mateix cicle, no pot haver-hi una diferencia en velocitats major a 30 Km/h.

La fórmula utilitzada per aquesta agregació, també es anàloga al cas anterior.

$$X_{i,t} = \frac{\sum_{j=1}^{r_{i,t}^{adm}} x_{i,t}}{r_{i,t}^{adm}} \quad [38]$$

On: $r_{i,t}^{adm}$ es el número de valors admissibles per a cada interval de temps de cada cicle.

4.5 PROCEDIMENT A SEGUIR

El tractament de les dades consta principalment de les etapes anteriors relacionades entre si, de manera que s'obté una base de dades completa i fiable amb les variables de trànsit desitjades en cada secció de control.

Per tal d'implementar aquest tractament de dades s'ha programat en llenguatge Visual Basic un seguit de Macros mitjançant Microsoft Excel, on a la Figura 17 es mostra una visualització del programa principal.

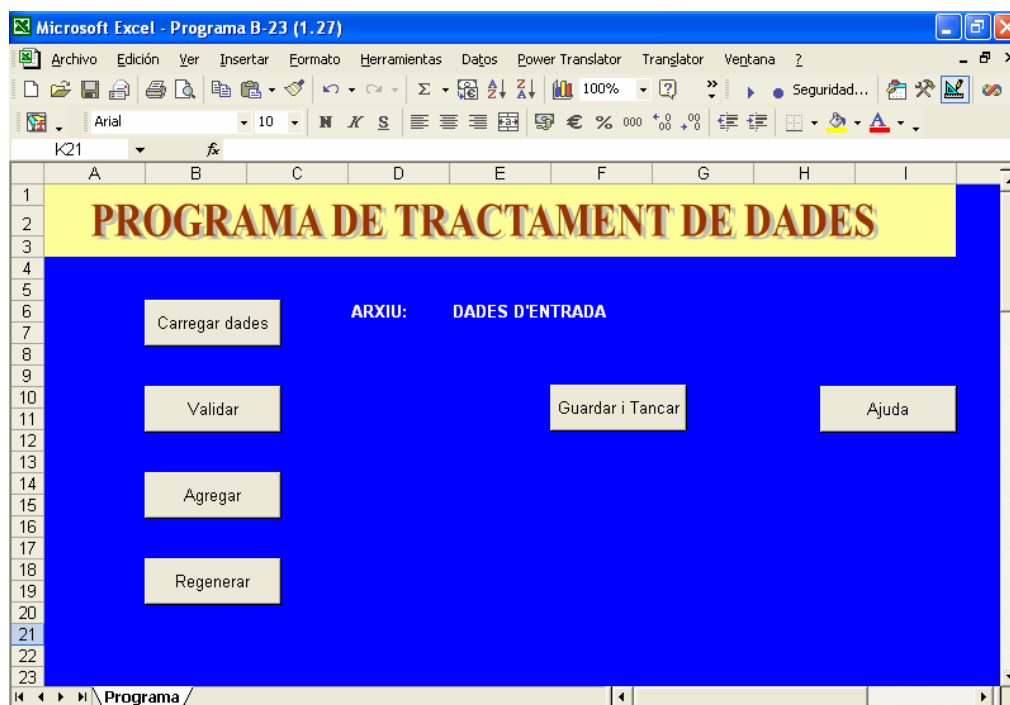


Figura 17. Visualització del programa de tractament de dades.
(Font: Elaboració pròpia)



A continuació es mostra la Figura 18, corresponent al diagrama d'aplicació general pel tractament de les dades disponibles en funció de les característiques pròpies de cada situació.

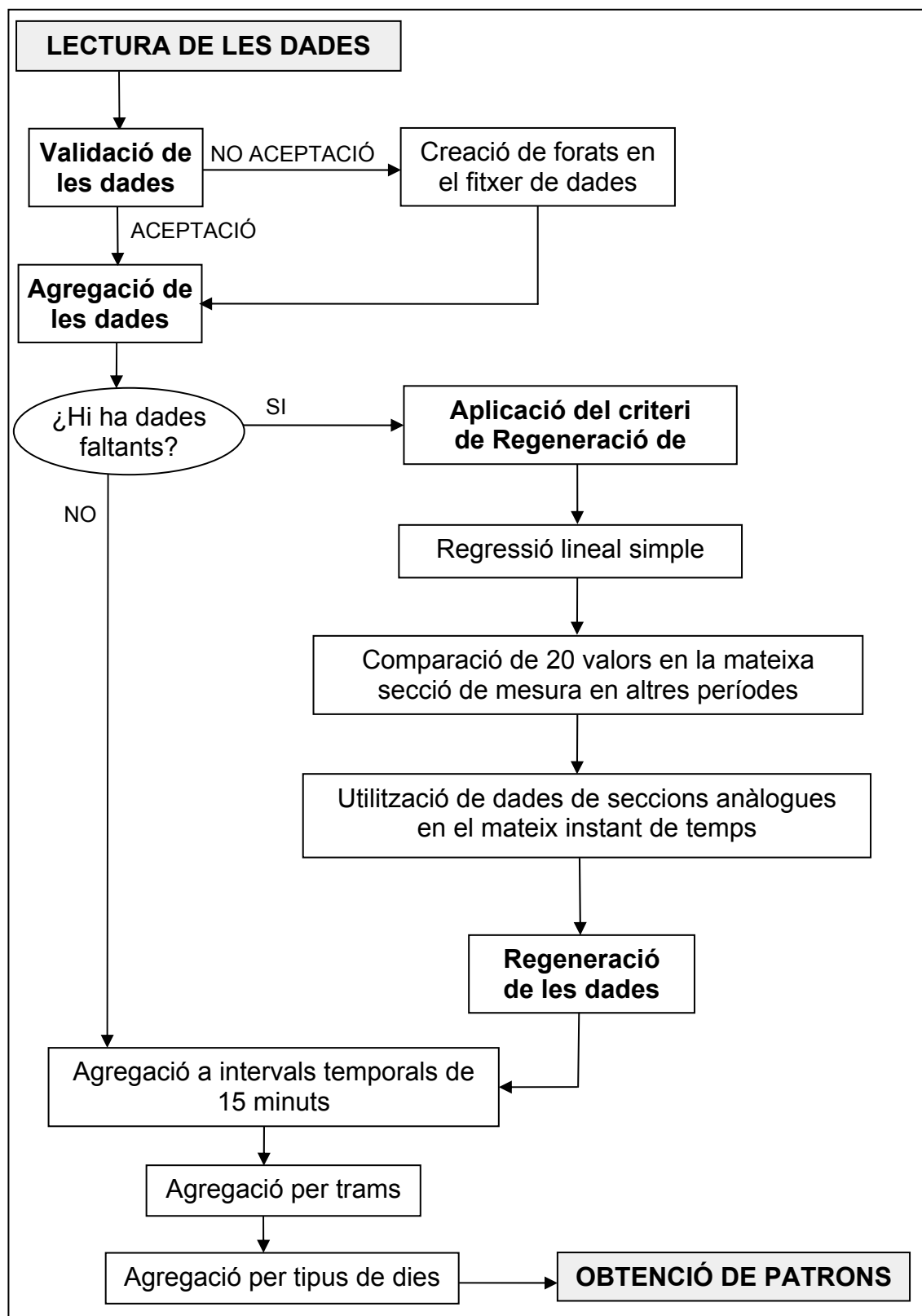


Figura 18. Diagrama d'aplicació de tractament de les dades.
(Font: Elaboració pròpia)



5. QUALITAT DE LES DADES

5.1 EFECTIVITAT DEL TRACTAMENT DE DADES

Les dades lliurades pel Servei Català de Trànsit, consistents en els registres minut a minut per a cada detector, han estat tractades amb un doble objectiu: per un costat, obtenir agregacions espacials i temporals de les dades amb la finalitat de disposar de dades de trànsit cada 15 minuts per a cada estació i d'alta banda, juntament al procés d'agregació, un procés de restitució de les dades originals per tal de corregir les mancances de les dades originals. Tots dos processos han estat realitzats en paral·lel. L'efectivitat d'aquest procés de tractament de les dades és analitzat a continuació.

El tractament de les dades originals lliurades pel Servei Català del Trànsit s'ha realitzat en 5 passos. En primer lloc, s'ha comprovat la seva validesa. Després s'han agrupat espacialment, és a dir, les dades dels diferents detectors s'han agrupat per estació. A continuació s'ha fet una primera agrupació temporal passant de dades minut a minut a dades cada tres minuts. Amb aquestes dades s'ha procedit a la regeneració de les dades inexistentes o errònies, i finalment s'ha realitzat una agregació temporal de 15 minuts.

Tant per a les dades originals lliurades pel Servei Català de Trànsit com per a cadascun dels passos del tractament de les dades es presenta a l'Annex – 2 de fiabilitat de les dades, unes taules en les quals s'indica el nombre teòric de registres que hi hauria d'haver comptabilitzats en el període estudiat, el nombre real de registres del que es disposa, el percentatge dels registres dels que es disposa en relació als que hauria d'haver i l'increment de les dades disponibles correctes, en relació al pas anterior, menys en el cas de les dades originals.

Dels resultats obtinguts per aquestes taules es poden extreure les següents conclusions:

- Les dades originals lliurades pel Servei Català del Trànsit presenten importants carències. En primer lloc, pel nombre de dades recollides, que només suposen un 77% del total de dades d'intensitat que teòricament haurien d'haver estat recollides en el període de temps d'estudi i un 75% aproximadament dels registres de velocitat i vehicles lleugers. Aquest percentatge empitjora encara més quan es valida la seva qualitat, pas en el que es rebutja entre un 22 i un 27 % de les dades recollides per incorrectes, la qual cosa significa finalment que del període de temps considerat només es disposa d'un 56% de dades bones per a les dades de sortida i un 59% per a les dades d'entrada, tant per a intensitats com per velocitats. Si aquests percentatges s'estenguessin a la resta de l'any equivaldria a que durant prop de sis mesos els detectors no funcionarien. Cal tenir present, a més a més, que la velocitat només es enregistrada en les estacions dobles, les quals suposen poc més del 50% de les estacions. Això implica que hi ha una mancança important de dades sobre el comportament de la via en base a la velocitat, i això repercutirà en el posterior procés de restitució de dades, el qual no podrà ser tant exhaustiu com el d'intensitats.



- Un altre punt important és que en el procés d'agregació espacial es produeix una millora de les dades molt significativa, millora que no es produeix en l'agregació temporal. A partir d'aquesta constatació es pot deduir que:

a) Les avaries dels detectors normalment no afecten a una secció, és a dir, a totes les espires d'una mateixa ETD, sinó que més bé afecten a detectors individuals, mancances que amb l'agregació espacial poden ser resoltes.

b) Las avaries no es produeixen intermitentment en el temps (petits talls temporals de funcionament), sinó que s'allarguen en períodes de temps relativament prolongats. Per aquest motiu, l'agregació temporal no permet la restitució o reconstrucció de les dades.

- Per últim cal assenyalar que tot i la manca de dades s'ha pogut dur a terme un procés de restitució amb resultats prou satisfactoris. Per a les dades d'intensitat s'arriba a prop del 100%, per a les de velocitat estan a prop del 90% i les dades corresponents a tipologia de vehicle segons la longitud són les més dolentes, arribant a estar a l'entorn del 72 i 86 % segons el sentit de circulació. Això es deu a que l'alta densitat de detectors de la zona d'estudi permet realitzar processos de reconstrucció efectius.

5.2 FIABILITAT DE LES DADES

La fiabilitat de les dades ofereix informació sobre el percentatge de dades correctes a partir del qual s'ha pogut obtenir una base de dades completa sobre les variables del trànsit per tal de poder realitzar els càlculs mediambientals.

Els valors de fiabilitat de cada variable per a cada tram d'estudi s'obtenen a partir de la quantitat de dades inicials validades agregades als diferents trams d'estudi. És a dir, inicialment es calcula el nombre total de dades disponibles de cada variable que han superat amb èxit la primera validació de dades i a continuació es calculen els percentatges en funció del nombre total de dades que es podrien obtenir, tenint en compte el nombre total de carrils de mesura a cada secció (variacions d'entre 2 i 5 carrils) i tot l'interval temporal d'anàlisi, que en aquest cas es de 5 dies pel sentit d'entrada a Barcelona i 7 dies pel sentit de sortida de Barcelona.

Finalment, es realitza l'agregació d'aquests percentatges, corresponents a les seccions de mesura, als diferents trams d'anàlisi, tenint en compte el percentatge de les seccions de mesura amb detectors dobles per a les variables velocitat i tipologia de vehicle (únics detectors que poden mesurar-les), i el percentatge total resultant per a cada variable, agregat entre totes les seccions de mesura d'un mateix tram, tant si son dobles com no. Per tant, en els diferents trams es veu reflectida la fiabilitat de només les estacions dobles i les del total del tram. Aquests percentatges es mostren a la Figura 19.



Tram	Intensitat	Velocitat		Tipologia de vehicle	
		Total	Det. Dobles	Total	Det. Dobles
	Entrada a Barcelona				
6	77,43	78,82	78,82	85,35	85,35
8	68,36	0,00	0,00	0,00	0,00
10	74,54	26,59	79,78	29,11	87,32
12	74,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	53,99	20,92	83,69	22,21	88,86
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	28,56	29,18	29,18	0,00	0,00
20	84,09	0,00	0,00	0,00	0,00
22	69,14	55,84	83,76	29,21	43,82
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	67,36	73,25	73,25	81,14	81,14
28	83,82	0,00	0,00	0,00	0,00
30	60,36	65,46	65,46	73,31	73,31
32	52,18	37,69	56,53	39,76	59,64
34	52,16	14,31	57,24	14,42	57,68
36	83,06	0,00	0,00	0,00	0,00
38	64,30	38,71	58,07	37,24	55,86
40	68,06	57,26	76,35	56,48	75,30
42	72,67	42,53	85,06	39,66	79,33
44	57,41	30,22	50,37	3,47	5,79
	Sortida de Barcelona				
5	68,25	28,80	57,60	26,00	52,00
7	78,48	29,43	88,30	0,00	0,00
9	24,39	0,00	0,00	0,00	0,00
11	48,70	21,49	85,94	19,11	76,45
13	58,60	20,53	82,11	16,79	67,16
15	70,76	51,05	76,58	44,41	66,62
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	65,63	27,25	54,51	35,73	71,46
21	62,16	43,95	65,92	37,65	56,48
23	43,59	24,30	72,91	21,53	64,60
25	70,00	46,69	70,03	39,76	59,64
27	77,69	41,69	83,39	28,43	56,87
29	58,48	64,68	64,68	66,96	66,96
31	59,26	33,92	56,53	27,60	46,00
33	80,38	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 19. Percentatges de fiabilitat de cada variable per a cada tram de via.
(Font: Elaboració pròpia)

6. ANÀLISI DESCRIPTIU DELS PATRONS

6.1 COLLS D'AMPOLLA

Els colls d'ampolla sempre van lligats a una limitació física, ja sigui infraestructural o una incidència.

Aquests es produeixen en els punts on hi ha un canvi de geometria de la secció de la via, comportant una reducció de capacitat de la mateixa. En aquest cas, existeix un cert flux de vehicles en un sentit que al arribar al coll d'ampolla pot provocar una situació de congestió si la capacitat del coll d'ampolla és inferior al flux de vehicles que hi està arribant, formant-se a més a més una cua. A més a més, els colls d'ampolla tenen una variable temporal, ja que no solen estar actius les 24 hores del dia, sinó que es produeixen en diferents moments i en diferents punts de la via, ja que temporalment la capacitat de la via es veu disminuïda per exemple, per un accident o una cua d'una sortida que inhabilita un carril de circulació.

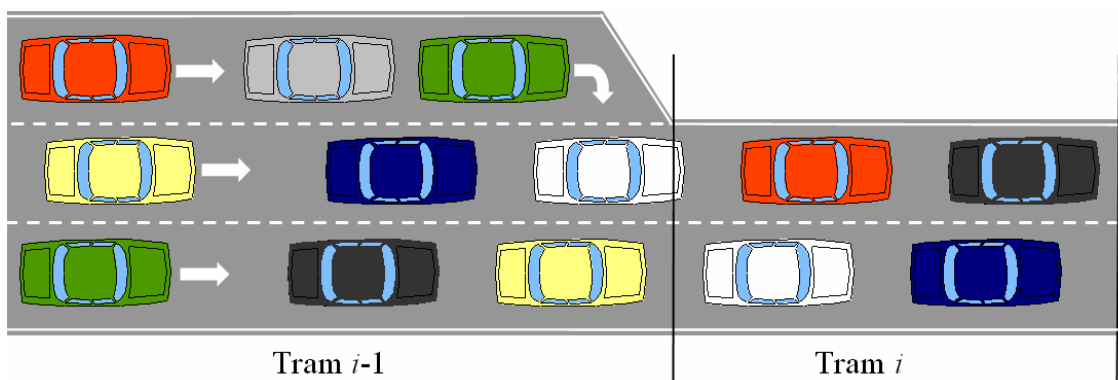


Figura 20. Exemple de coll d'ampolla per reducció de carrils (*lane drop*).

(Font: Elaboració pròpia)

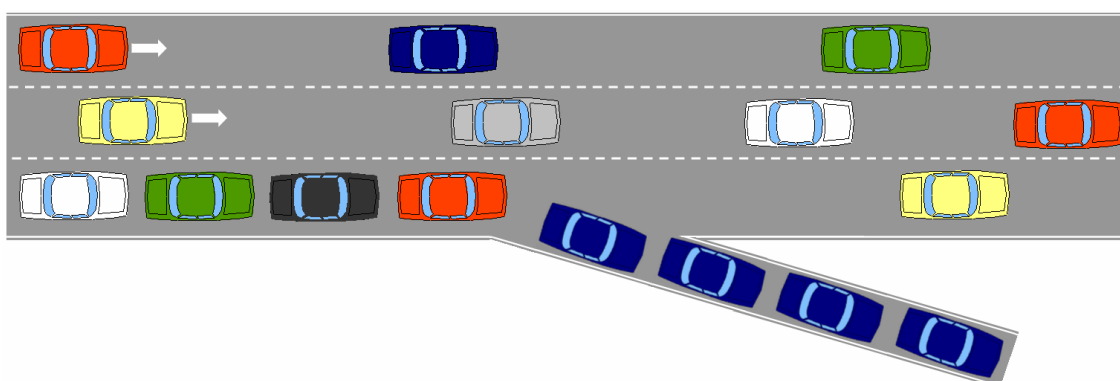


Figura 21. Exemple de coll d'ampolla per la incidència al tronc central d'un enllaç (*diverging bottleneck*).

(Font: Elaboració pròpia)

Cal tenir en compte que en una situació de congestió d'un itinerari, sempre existirà un tram que farà de coll d'ampolla i pel que circularà la intensitat corresponent a la seva capacitat amb una velocitat crítica. Aquesta idea està fonamentada en les teories de la "Berkeley School" (Universitat de Califòrnia).



Si els trams aigües amunt suporten fluxos de vehicles superiors a la capacitat d'aquest coll d'ampolla, els vehicles s'acumularan en aquests trams en la densitat de congestió. La velocitat amb la que avançarà aquesta congestió serà la mateixa del coll d'ampolla ponderada per les diferències geomètriques de la via en ambdós trams.

L'aplicació d'aquesta idea bàsica a un itinerari concret permet conèixer l'evolució del coll d'ampolla i, per tant, la predicció del comportament del trànsit:

1. Determinació dels colls d'ampolla de l'itinerari i de les seves capacitats (q_c).
2. Si per a un determinat dia i per a una determinada hora en algun tram el flux de vehicles demandant és superior a la capacitat:

$$q > q_c \quad [39]$$

On: q és el flux de vehicles.
 q_c és la capacitat.

Llavors en el tram i origen de la congestió, les variables fonamentals del trànsit prendran els següents valors:

q_c el flux serà igual a la capacitat.
 k_c la densitat serà la densitat crítica de cada carril.
 v_c la velocitat serà la velocitat crítica que es pot calcular a partir de la relació fonamental del trànsit mitjançant la següent expressió.

$$v_c = \frac{q_c}{k_c \cdot n_c} \quad [40]$$

On: n_c és el nombre de carrils.

6.2 DESCRIPCIÓ DELS PATRONS

A continuació es presenta la descripció dels patrons de comportament del corredor de la B-23/ AP-2 / AP-7 a partir de les dades d'intensitat i velocitat cada 15 minuts agrupades per trams. Les dades originals proporcionades pel Servei Català de Trànsit i el posterior tractament i procés de restitució de dades han fet possible l'obtenció de patrons per als següents dies tipus:

- Per sentit d'entrada: Dia laborable, Divendres, Dissabte i Diumenge.
- Per sentit de sortida: Dilluns, Dia laborable, Divendres, Dissabte i Diumenge

L'anàlisi dels patrons i l'obtenció dels indicadors s'ha realitzat a partir de la representació gràfica dels nivells de la intensitat i la velocitat tant temporal com espacialment. Per un costat, sobre la cartografia del corredor, s'ha representat per a cada tram i per a cada tipus de dia una gràfica on es mostra, en mapes

separats, l'evolució de la velocitat i de la intensitat al llarg del dia. Amb aquesta informació, i prenent com a referència la velocitat, s'han pogut determinar les principals característiques patró de trànsit.

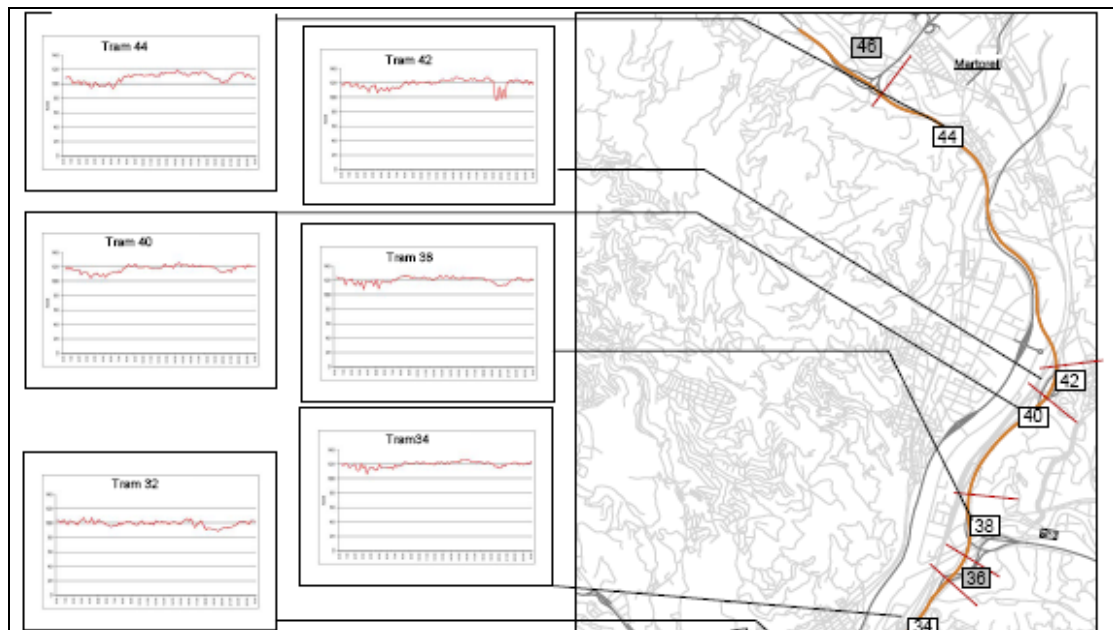


Figura 22. Exemple de representació dels patrons diaris de velocitat per tram.
(Font: Elaboració pròpia)

D'altra banda, i per als períodes assenyalats com d'hora punta s'ha representat l'evolució de la velocitat als diferents trams, aconseguint d'aquesta manera mostrar el comportament de la via en cada situació de congestió.

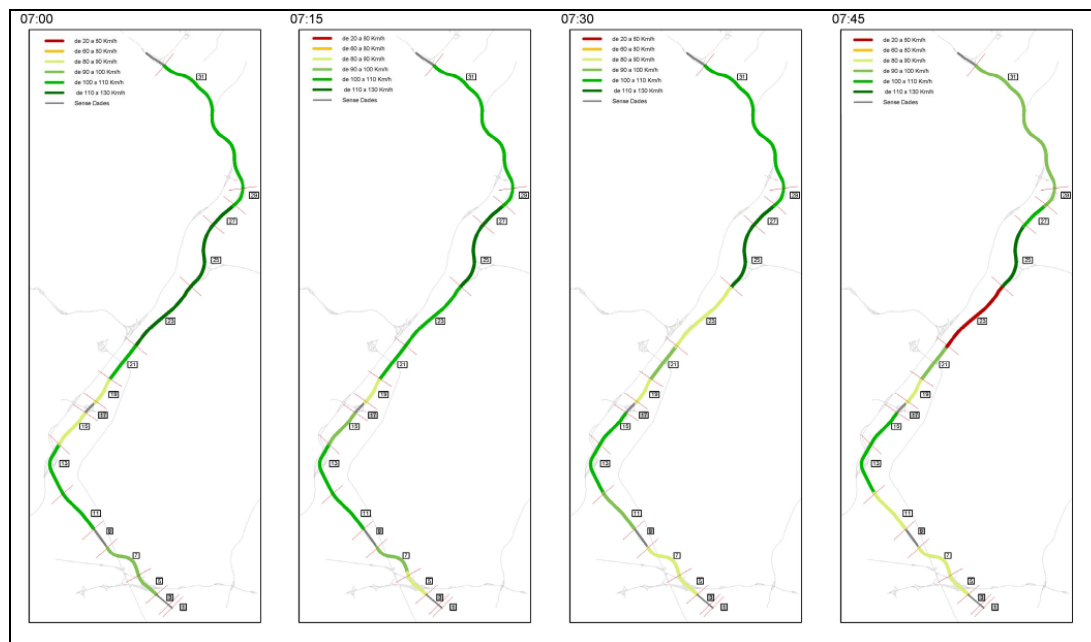


Figura 23. Exemple de representació de l'evolució temporal de la velocitat.
(Font: Elaboració pròpia)



Per tant, per a cada patró de cada dia tipus, es determina la següent informació que es presenta en forma de fitxa:

- Velocitats lliures per trams
- Situacions de trànsit dens (velocitats compreses entre 60 Km/h i 80 Km/h)
- Situacions de *Stop and Go* (velocitats inferiors a 60 Km/h)
- Envoltent temporal de l'hora punta del matí
- Envoltent temporal de l'hora punta de la tarda
- Coll d'ampolla espacials i temporals

Finalment, juntament amb aquesta informació també s'inclou una petita descripció del funcionament de la via en els moments de congestió, apuntant quines podrien ser les causes del comportament de cada episodi i les repercussions sobre la resta del trànsit.

Cal dir que la informació cartogràfica referent als patrons de velocitat i intensitat diaris, així com la representació de l'evolució temporal de la velocitat en els episodis de congestió i la quantificació en minuts dels intervals de congestió a cada tram s'inclouen als Annexos 3 i 4.



Sentit entrada. Laborable

Velocitats lliures per tram

Tram 6:	80 Km/h
Tram 10:	100 Km/h
Tram 12:	100 Km/h
Tram 14:	100 Km/h
Tram 18:	100 Km/h
Tram 22:	100 Km/h
Tram 26:	70 Km/h
Tram 30:	110 Km/h
Tram 32:	100 Km/h
Tram 34:	110 Km/h
Tram 38:	120 Km/h
Tram 40:	110 Km/h
Tram 44:	100 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 6
Tram 10
Tram 14
Tram 18
Tram 22
Tram 26
Tram 30
Tram 32
Tram 34

Trams on es detecten situacions de stop&go

Tram 6
Tram 10
Tram 14
Tram 18
Tram 26
Tram 30

Hora Punta matí

Comença a les 07:00 hores als trams 6, 10, 14 i 30. Finalitza a les 11:00 hores als trams 6, 10, 14 i 18.

Hora Punta Tarda

Comença a les 15:00 hores als trams 10 i 14 i finalitza a les 21:30 hores al tram 6.



Principals coll d'ampolla espacials i temporals

- 07:00 -10:15: Entrada de Barcelona que entre les 08:00 i les 10:00 s'estén fins les la intersecció amb l'A2.
- 07:45 – 09:30: Trams entre la intersecció de Sant Vicenç dels Horts fins els compresos dins de la intersecció amb la N340 a Molins de Rei.
- 15:00 – 21:15: Entrada de Barcelona que entre les 17:15 i les 20:15 s'estén fins les la intersecció amb l'A2.

Comportament

El patró de trànsit de dia laborable presenta dos hores punta prou extenses. Una de matí, entre les 07:00 hores i les 11:00, i una altra de tarda, entre les 15:00 h i les 21:15 h.

L'hora punta del matí comença amb baixades brusques de velocitat a diferents trams - 6, 10, 14 i 30 - que posteriorment, fins les 08:30 h s'estenen a altres trams, el 18, 22, 26, 32 i 34. És en els trams més pròxims a l'entrada de Barcelona on es produeixen les caigudes de velocitat més importants i que perduren més temps, fins les 11:00 h. Les velocitats en els quatre trams més pròxims a Barcelona dels que es disposa dades, arriben a valors inferiors als 40km/h i en el cas del tram més pròxim es mantenen aquestes velocitats des de les 08:30 h fins a les 10:15 h.

En els trams que conformen la B-23 i l'AP-2, entre l'enllaç amb l'A2 i el Papiol – Trams 18, 22, 26, 30, 32 i 34 -, especialment en el més pròxims a Barcelona, també es produeixen baixades de velocitat, que fins i tot en algun cas puntual arriben a velocitats inferiors a 40km/h. Tot i així no són tant duraderes com en els trams d'entrada a Barcelona.

A partir de les 10:00 hores es produeix una ràpida recuperació de la velocitat en tots els trams afectats.

L'hora punta de la tarda comença amb una caiguda esglaonada de la velocitat a partir de les 15:00 hores als trams més pròxims a l'entrada de Barcelona – trams 6, 10 i 14. Als trams 6 i 10 s'estabilitza la velocitat en torn als 50 km/h entre les 17:00 h i les 21:00 h, moment en que comença a recuperar-se. En els trams 12 i 14, no tant propers com els anteriors, la velocitat disminueix paulatinament fins a valors inferiors als 40 km/h cap a les 20:00 h, moment a partir del qual es recupera la velocitat ràpidament. El tram 18, que es situa entre la sortida i l'entrada des de l'A2, es veu afectat també per reduccions brusques de velocitat, possiblement com a conseqüència de l'extensió de la cua dels trams més propers a Barcelona.



Sentit entrada. Divendres

Velocitats lliures per tram

Tram 6:	80 Km/h
Tram 10:	100 Km/h
Tram 14:	100 Km/h
Tram 18:	100 Km/h
Tram 22:	100 Km/h
Tram 26:	70 Km/h
Tram 30:	110 Km/h
Tram 32:	100 Km/h
Tram 38:	120 Km/h
Tram 40:	120 Km/h
Tram 44:	110 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 6
Tram 10
Tram 14
Tram 18
Tram 22
Tram 26
Tram 28
Tram 30
Tram 32

Trams on es detecten situacions de stop&go

Tram 6
Tram 10
Tram 14
Tram 18
Tram 26
Tram 28

Hora Punta matí

Comença a les 07:00 hores als trams 6, 10, 14, 18 i 30. Finalitza a les 11:00 hores al tram 6.

Hora Punta Tarda

Comença a les 15:00 h als trams 10, 12 i 14 i finalitza a les 20:15 h al tram 6.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

07:00 -10:45: Entrada de Barcelona que entre les 08:00 h i les 10:00 h s'estén fins a la intersecció amb l'A2.



- 07:45 – 09:30: Trams entre la intersecció de Sant Vicenç dels Horts fins els compresos dins de la intersecció amb la N340 a Molins de Rei.
- 15:00 –21:15: Entrada de Barcelona amb dos moments puntuals, entre les 15:15 h i 16:15 h, i entre les 18:30 h i les 19:00h.
- 18:45- 19:30: A la B-23 entre l'enllaç de l'A2 i la sortida de Sant Just.

Comportament

El patró de trànsit per al sentit entrada per a un divendres presenta dos moments d'hora punta, un de matí, entre les 07:00 hores i les 11:00 hores, i un altre de tarda entre les 15:00 hores i les 20:15 hores.

L'hora punta del matí comença amb una sobtada baixada de la velocitat als trams compresos entre l'enllaç amb l'A2 i Barcelona – tram 6, 10, 14 i 18 – la qual es produeix de manera més brusca en els trams més propers a Barcelona. De fet, a partir de les 08:00 hores fins les 09:00 hores tots aquests trams circulen amb velocitats inferiors als 60 km/h amb períodes perllongats en que ho fan a menys de 40 km/h. Des de les 09:00 hores comencen a recuperar-se les velocitats fins que a les 11:00 hores es restableixen les velocitats de flux lliure, essent el tram més pròxim a Barcelona – tram 6 – l'últim en retornar a la normalitat. Cal a dir també, que el tram 6 és el que experimenta un major temps amb velocitats inferiors a 40 km/h.

Es pot assenyalar que el comportament de les retencions en aquesta part de via té diversos orígens. Per un costat, la mateixa entrada a Barcelona i la consegüent reducció de la capacitat de la via per la regularització semafòrica, origina cues que s'estenen en sentit contrari al de la marxa. Per altre costat, l'entrada i sortida de Sant Just també ocasiona, tant cues per a accedir a la rampa de sortida com un augment de la intensitat al incorporar-se nous vehicles, i per tant, una major saturació de la via. Per últim, la incorporació des de l'A2 també fa augmentar la intensitat, dificultant la circulació dels vehicles que ja estan dins de la via, la qual cosa repercuteix en la formació d'una cua en sentit contrari a la marxa, creant-se un coll d'ampolla en aquesta incorporació.

Al mateix temps que es produeix aquest episodi de retenció als trams més propers a Barcelona, es registra un altre episodi de retenció entre el nus de Sant Vicenç dels Horts i el de Molins de Rei – trams 26, 30 i 32. A les 07:00 hores comença en aquests tres trams una davallada de la velocitat, especialment intensa en els trams 26 i 28. A partir de les 08:45 h s'inicia una recuperació de la velocitat fins que cap a les 10:00 hores, pot donar-se per acabat l'episodi de retenció en aquest espai. El gran augment de flux a partir de l'entrada de Molins de Rei, i consegüentment la saturació de la via semblen ser els responsables de la congestió dels trams següents a aquesta entrada i els efectes de la qual s'entendrien en el sentit contrari a la marxa – Tram 32. A més a més, la reducció de velocitat per dirigir-se cap a la sortida de Sant



Vicenç dels Horts i l'eventual cua que es pogués formar dificultaria encara més la circulació, especialment al tram 36, just abans d'aquesta última sortida.

Per la tarda, les retencions es localitzen en dos punts de la via. Per un costat, i de forma irregular en el temps, es produeixen baixades sobtades i brusques de velocitat en l'entrada de Barcelona – tram 6 – que es propaguen en sentit contrari a la marxa de manera molt lleu, provocant petites irregularitats de les velocitats mitges entre les 15:00 hores i les 21:00 hores al tram 10.

L'altre punt on es poden detectar retencions és al tram 14, entre l'entrada de l'A2 i la sortida de Sant Just. Es tracta d'una baixada de velocitat acotada entre les 18:15 hores i les 19:45 hores i que només puntualment arriba a velocitats inferiors als 80km/h. Aquesta retenció s'estén en el sentit contrari a la marxa cap als trams 18 i 22 però amb una amplitud temporal i disminució de la velocitat menor. El gran flux d'entrada des de l'A2 i des de la Ronda Litoral, juntament amb una reducció de la secció de la via de 4 a 3 carrils, semblen ser els responsables d'aquest episodi de retenció.



Sentit entrada. Dissabte

Velocitats lliures per tram

Tram 6:	80 Km/h
Tram 10:	100 Km/h
Tram 14:	110 Km/h
Tram 18:	100 Km/h
Tram 22:	110 Km/h
Tram 26:	80 Km/h
Tram 30:	110 Km/h
Tram 32:	100 Km/h
Tram 34:	120 Km/h
Tram 38:	120 Km/h
Tram 40:	120 Km/h
Tram 44:	110 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 6
Tram 10
Tram 14
Tram 18
Tram 26

Trams on es detecten situacions de stop&go

Tram 6
Tram 10
Tram 14
Tram 18

Hora Punta matí

No es produeix.

Hora Punta Tarda

Comença a les 18:30 hores als trams 6 i 14, finalitzant a les 22:00 hores al tram 6.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

19:00 -21:30: Entrada de Barcelona que entre les 19:30 h i les 21:15 h s'estén fins les la intersecció amb l'A2.

Comportament

El patró de trànsit de dissabte per al sentit d'entrada presenta un únic moment d'hora punta per la tarda entre les 18:30 hores i les 22:00 hores.



A partir de les 18:30 h es produeix una forta baixada de la velocitat a l'entrada de Barcelona fins a velocitats inferiors als 40 km/h, que perdura fins les 22:00 hores i que entre les 20:30 hores i les 21:30 hores arriba a velocitats inferiors als 20 Km/h. Aquesta retenció s'estén en sentit contrari a la marxa fins al tram 18. Tot i que a mesura que augmenta la distància a l'entrada de Barcelona disminueix l'amplitud horària de la retenció, en tots els trams la reducció de la velocitat és important, arribant sempre a velocitats inferiors als 40 Km/h.

El motiu de la retenció es deuria a la reducció de capacitat que es produeix a l'entrada de Barcelona, que es veu sobrepassada pel fort pic d'intensitat que es produeix a última hora de la tarda, molt especialment des de la intersecció amb l'A2. Aquest patró pot estar distorsionat, ja que les dades originals només oferien dades d'un únic dissabte, el 10 de març, dia en el que es celebrava a les 22:00 hores un important event esportiu a Barcelona, molt a prop de la via d'estudi, la qual cosa ha d'haver generat unes intensitats de trànsit no habituals.



Sentit entrada. Diumenge

Velocitats lliures per tram

Tram 6:	80 Km/h
Tram 10:	100 Km/h
Tram 14:	110 Km/h
Tram 18:	100 Km/h
Tram 22:	110 Km/h
Tram 26:	80 Km/h
Tram 30:	110 Km/h
Tram 32:	100 Km/h
Tram 34:	120 Km/h
Tram 38:	120 Km/h
Tram 40:	120 Km/h
Tram 44:	110 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 6
Tram 10
Tram 14
Tram 18
Tram 40
Tram 42
Tram 44

Trams on es detecten situacions de stop&go

Tram 14
Tram 18

Hora Punta matí

No es produeix.

Hora Punta Tarda

Comença a les 17:30 hores als trams 6 i 10 i finalitza a les 23:00 hores al tram 6.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

19:45 -23:00:	Entrada de Barcelona que entre les 18:30 h i les 21:45 h s'estén fins la intersecció amb l'A2.
20:30 -22:15:	AP-7 entre el peatge de Martorell i la intersecció del Papiol.



Comportament

El patró de trànsit de diumenge en sentit entrada presenta un únic moment d'hora punta, entre les 17:30 hores i les 23:00 hores tot i que es donen dos episodis de retenció espacialment separats.

El primer començaria a les 17:30 h als trams 6 i 10 amb lleugeres baixades de la velocitat que arriben cap a les 20:00 hores a velocitats pròximes als 60 Km/h en el tram 6 i inferiors als 80 Km/h en el tram 10. Relacionat amb aquest episodi es produeixen cap a les 18:00 hores unes fortes baixades de velocitat als trams 14 i 18, que arriben als 40 km/h i 20 km/h respectivament fins aproximadament les 22:00 hores. Es pot apuntar, que aquestes brusques baixades de la velocitat es deuen a la incorporació important de vehicles des de l'A2 i de la impossibilitat de ser absorbides per la B-23 amb un perfil de 3 carrils, on els problemes de circulació que provoquen acaben també afectant els trams més pròxims a l'entrada de Barcelona.

L'altre lloc on es produeixen retencions és als trams 40, 42 i 44, entre l'entrada de Martorell fins al desviament cap a l'AP-7 del Papiol, on es produeixen baixades moderades de velocitat des de primera hora de la tarda i que a les 19:00 hores al tram 40 i a les 20:00 hores als trams 42 i 44 es produeixen de manera més brusca, perdurant fins a les 23:00 hores. Aquest episodi de retenció es deuria a la incorporació des de l'AP-2 a l'AP-7 d'un gran nombre de vehicles, que col·lapsarien els ramals d'accés, estenent la cua fins a l'eix de l'autopista.



Sentit sortida. Dilluns

Velocitats lliures per tram

Tram 5:	90 Km/h
Tram 7:	100 Km/h
Tram 11:	110 Km/h
Tram 13:	110 Km/h
Tram 15:	90 Km/h
Tram 19:	110 Km/h
Tram 21:	120 Km/h
Tram 23:	110 Km/h
Tram 25:	120 Km/h
Tram 27:	110 Km/h
Tram 29:	100 Km/h
Tram 31:	100 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 23

Trams on es detecten situacions de stop&go

Tram 23

Hora Punta matí

Comença a les 07:00 hores i finalitza a les 09:00 hores. L'hora punta ve marcada pel tram 23.

Hora Punta Tarda

No es produeix.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

07:45 -08:00: AP-2 entre l'enllaç de la N-340 a Molins de Rei i la intersecció amb la AP-7 al Papiol.

Comportament

En el patró de trànsit de dilluns per al sentit de sortida s'observa un únic moment d'hora punta que es situa entre les 07:00 hores i les 09:00 hores.

En el tram 23, comprès entre la incorporació de l'AP-7 i l'enllaç de Molins de Rei, a partir de les 07:00 hores, de manera suau i de forma més ràpida a partir de les 07:30 hores, es produeix una reducció de la velocitat fins a valors inferiors als 60 Km/h. A partir de les 08:15 hores comença una ràpida recuperació de la velocitat fins que a les 09:00 hores s'ha recuperat la velocitat de flux lliure que és d'aproximadament 110 Km/h.



Aquest episodi de retenció es deixa sentir de manera molt lleugera en el tram següent en sentit contrari a la marxa – tram 21 – on es produeix una petita reducció de la velocitat que no es pot considerar com a retenció.

Per la tarda, tot i no existir episodis de retenció sí que es dona una sobtada reducció de la velocitat al tram 23, en la que es passa d'una velocitat en torn a 115 km/h a una inferior als 100 Km/h, pèrdua de velocitat que com en el cas del matí també es veu reflectida en el tram 21.

La raó d'aquest episodi de retenció semblaria relacionat amb la incorporació de vehicles des de l'AP-2 a l'AP-7, el que produeix una saturació dels ramals de sortida i una cua que s'entendria fins a l'eix troncal de l'autopista AP-2.



Sentit sortida. Divendres

Velocitats lliures per tram

Tram 5:	90 Km/h
Tram 7:	100 Km/h
Tram 11:	110 Km/h
Tram 13:	110 Km/h
Tram 15:	100 Km/h
Tram 19:	110 Km/h
Tram 21:	110 Km/h
Tram 23:	120 Km/h
Tram 25:	120 Km/h
Tram 27:	110 Km/h
Tram 29:	110 Km/h
Tram 31:	100 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 5
Tram 7
Tram 11

Trams on es detecten situacions de stop&go

No es detecten.

Hora Punta matí

No es produeix.

Hora Punta Tarda

Comença a les 17:00 hores i finalitza a les 21:00 hores. L'hora punta ve marcada per tram 11.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

17:45 -19:30: A la B-23 entre l'enllaç amb la A2 i l'enllaç de Sant Just

Comportament

El patró de trànsit de divendres en sentit sortida de Barcelona presenta un únic moment d'hora punta, el qual succeeix durant la tarda i es veu pràcticament circumscribit a un únic tram, l'11, situat entre l'entrada de Sant Just i la sortida cap a l'A2.

En aquest punt i cap a les 17:00 h es produeix una forta i ràpida reducció de la velocitat fins arribar a les 17:45 h a velocitats al voltant de 40 km/h. A partir d'aquest moment es recupera poc a poc la velocitat fins que a les 21:00 hores



torna a situar-se en valors propers als 100 km/h. Aquesta baixada de la velocitat sembla estar motivada per la cua generada en la sortida cap a l'A2, cua que sembla que s'estén en algun moment puntual fins al tram 7.

En la resta de trams no s'observen amb claredat signes de congestió, mantenint, llevat d'alguna excepció, cada tram una velocitat prou constant al llarg del dia.



Sentit sortida. Laborable

Velocitats lliures per tram:

Tram 5:	90 Km/h
Tram 7:	100 Km/h
Tram 11:	110 Km/h
Tram 13:	110 Km/h
Tram 15:	100 Km/h
Tram 19:	100 Km/h
Tram 21:	110 Km/h
Tram 23:	110 Km/h
Tram 25:	120 Km/h
Tram 27:	120 Km/h
Tram 29:	100 Km/h
Tram 31:	100 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 5
Tram 7
Tram 11
Tram 19
Tram 23

Trams on es detecten situacions de stop&go

No es detecten.

Hora Punta matí

Comença a les 07:00 hores en tres trams alhora (11, 21, i 23) i finalitza a les 09:30 hores al tram 23.

Hora Punta Tarda

Comença a les 16:45 hores i finalitza a les 21:30 hores. L'hora punta ve marcada pel tram 5.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

07:45 -08:00:	Tram més pròxim a l'entrada de Barcelona.
07:45 -08:00:	A l'AP-2 entre el Papiol i la intersecció amb la N-340 en Molins de Rei.
16:45 - 21:15	Tram més pròxim a l'entrada de Barcelona.



Comportament

El patró de trànsit de dia laborable per al sentit d'entrada presenta dos hores punta, una de matí entre les 07:00 hores i les 09:30 hores, i una altra de tarda, entre les 16:45 hores i les 21:30 hores.

L'hora punta del matí comença amb una forta caiguda de la velocitat a tres trams al mateix temps, l'11, 21 i 22, velocitat que arriba, als trams 5 i 23, a ser inferior a 80 Km/h entre les 07:45 h i les 08:00 h.

La disminució de la velocitat s'estén a altres trams. Des del tram 5, la disminució de la velocitat, tot i que mai baixa dels 80 Km/h, s'estén en el sentit de la marxa, afectant els trams 7 i 11.

L'hora punta de la tarda és molt més extensa i s'estén des de les 16:45 h a les 21:30 h. Les disminucions de velocitat més importants es produeixen a la sortida de Barcelona, tram 5, en la qual es registren velocitats mitges inferiors als 80 km/h durant tot aquest període. A partir d'aquest punt la disminució de velocitat s'estén als trams 7 i 11. És en aquest últim tram on es detecten les caigudes de velocitat més brusques a les 19:00 h, quan les velocitats són inferiors als 80 Km/h. La velocitat d'aquest tram pot estar determinada, per la incorporació que es produeix a l'inici del tram – incorporació des de Sant Just – on de fet es produeix un important augment de la intensitat.

A partir de les 18:30 h i fins les 19:45 h es produeix en els trams 19, 21 i 23, entre el Papiol i l'enllaç de Sant Vicenç, una disminució de la velocitat, especialment sobtada als trams 21 i 23, arribant a velocitats inferiors als 80km/h al tram 19 durant 15 minuts, a les 19:00 hores.



Sentit sortida. Dissabte

Velocitats lliures per tram

Tram 5:	90 Km/h
Tram 7:	100 Km/h
Tram 11:	110 Km/h
Tram 13:	110 Km/h
Tram 15:	100 Km/h
Tram 19:	110 Km/h
Tram 21:	120 Km/h
Tram 23:	120 Km/h
Tram 25:	120 Km/h
Tram 27:	120 Km/h
Tram 29:	120 Km/h
Tram 31:	100 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

No es detecten.

Trams on es detecten situacions de stop&go

No es detecten.

Hora Punta matí

No es produeix.

Hora Punta Tarda

No es produeix.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

No es detecten.



Sentit sortida. Diumenge

Velocitats lliures per tram

Tram 5:	90 Km/h
Tram 7:	100 Km/h
Tram 11:	110 Km/h
Tram 13:	110 Km/h
Tram 15:	90 Km/h
Tram 19:	110 Km/h
Tram 21:	120 Km/h
Tram 23:	120 Km/h
Tram 25:	120 Km/h
Tram 27:	120 Km/h
Tram 29:	110 Km/h
Tram 31:	100 Km/h

Trams on es detecten situacions de trànsit dens (80Km/h)

Tram 23

Trams on es detecten situacions de stop&go

Tram 23

Hora Punta matí

Comença a les 07:00 hores i finalitza a les 09:30 hores. L'hora punta ve marcada pel tram 23.

Hora Punta tarda

Comença a les 18:00 hores i finalitza a les 20:00 hores. L'hora punta ve marcada pel tram 23.

Principals coll d'ampolla espacials i temporals

07:45 -08:00:	A l'AP-2 entre el Papiol i la intersecció amb la N-340 a Molins de Rei.
18:45 -19:15	A l'AP-2 entre el Papiol i la intersecció amb la N-340 a Molins de Rei.

Comportament

El patró de trànsit de diumenge en sentit sortida presenta dos moments d'hora punta. Un de matí entre les 07:00 hores i les 09:30 hores, i un altre de tarda entre les 18:00 hores i les 20:00 hores. Tos dos períodes es circumscriuen al tram 23, just abans del desviament cap a l'AP-7.



A partir de les 07:00 hores es produeix al tram 23 una baixada de la velocitat des dels quasi 120 km/h fins a prop de 60 km/h i es manté una situació de baixes velocitats, tot i fluctuacions importants, fins a les 09:30 hores en que es recupera una velocitat de 110 km/h.

Per la tarda, a les 18:00 hores es produeix una molt accentuada baixada de la velocitat fins als 60 km/h, que es manté fins a les 19:15 hores, moment en que comença a recuperar-se ràpidament la velocitat.

La raó d'aquests dos episodis de retencions sembla que resideix en les cues generades en l'AP-7 com a conseqüència de la incorporació de l'AP-2, cues que s'estenen fins a aquesta última. Cal pensar, que gran part del flux de l'AP-2 que circula per quatre carrils es desvia cap a l'AP-7 a través d'un accés de dos carrils, la qual cosa condueix a la saturació d'aquest carril. Cal afegir també el gran flux que s'encamina a l'AP-7 des de l'AP-2 en sentit entrada a Barcelona, el que dificulta encara més la incorporació des de l'AP-2.



6.3 COMPORTAMENT GENERAL DEL CORREDOR

D'aquests resultats obtinguts, s'exposen a continuació unes conclusions generals sobre el comportament del corredor.

En relació a les velocitats lliures que es detecten en els diferents trams del corredor es pot distingir un comportament diferent tant pel que fa a l'entrada com a la sortida.

- Per l'entrada es pot determinar que les velocitats lliures durant els diferents dies tipus, de manera general, s'ajusten o es mantenen per sota de la velocitat límit marcada en diferents parts de la via. Tot i així, apareixen excepcions: l'entrada de Barcelona sempre registra unes velocitats superiors al límit de 60 km/h, els dissabtes i diumenges es registren en alguns trams de la B-23 velocitats lliures lleugerament superiors a la velocitat límit. Cal assenyalar, la important reducció de velocitat lliure que es produeix tots els dies tipus al tram 26, - entre la incorporació des de Molins de Rei i la sortida de Sant Vicenç dels Horts - amb velocitats inferiors en 20 o 30 km/h al límit de velocitat.

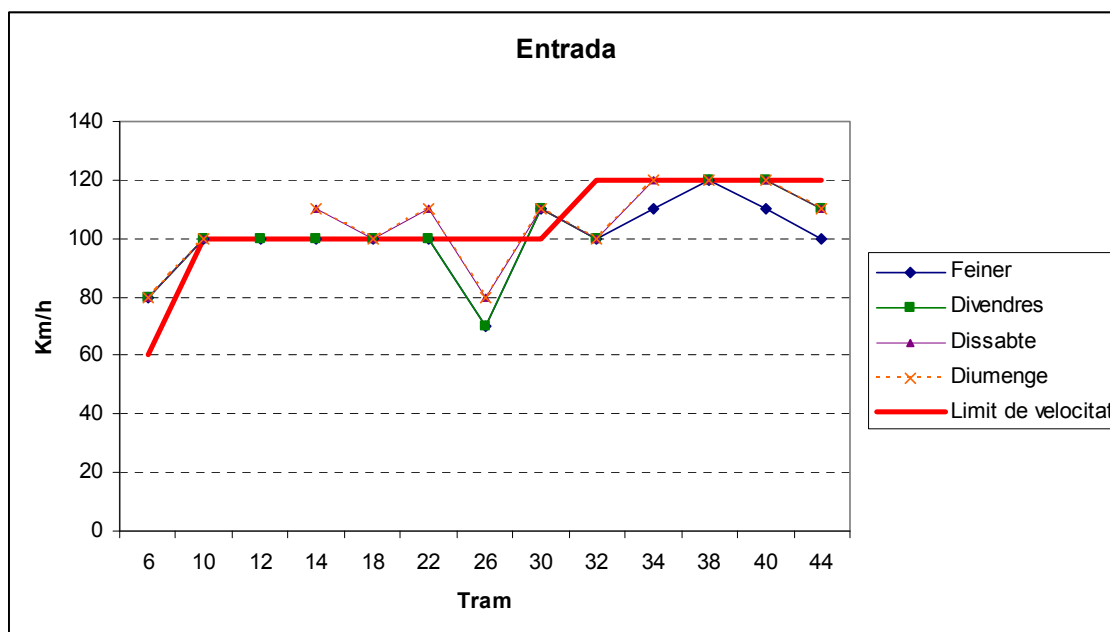


Figura 24. Velocitats lliures detectades en sentit entrada.

(Font: Elaboració pròpia)

- Per la sortida es poden assenyalar dos comportaments diferents segons la secció de la via. En els trams on la velocitat està limitada a 100 km/h – entre Barcelona i Molins de Rei – i a excepció del tram 15 – entre l'entrada de l'A2 i l'enllaç de Sant Vicenç dels Horts – i el tram immediat a la sortida de Barcelona, durant tots els dies tipus es superen les velocitats lliures. Més enllà de Molins de Rei, on la velocitat límit es fixa en 120 km/h, les velocitats de flux lliure s'ajusten a aquest límit o es mantenen per sota.

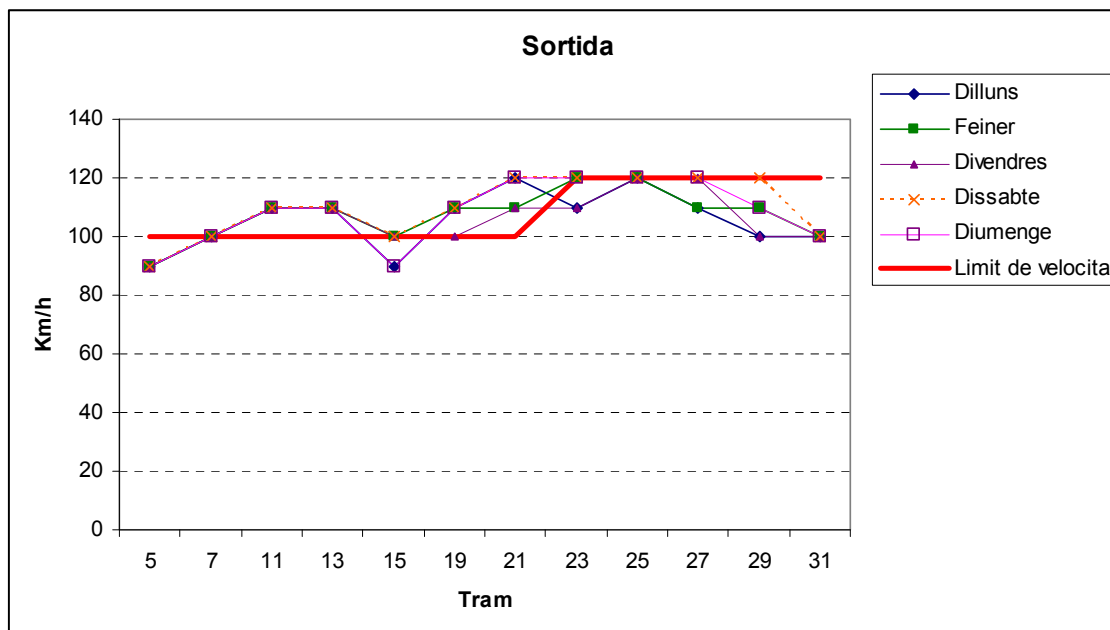


Figura 25. Velocitats lliures detectades en sentit sortida.

(Font: Elaboració pròpia)

La distribució de trànsit i dels episodis de congestió al llarg del dia, com era d'esperar, varia en funció del dia tipus.

- Per als dies laborables i per als dilluns els patrons reflecteixen l'important pes que tenen les entrades i sortides pel matí i per la tarda en la distribució del trànsit al llarg del dia, amb importants retencions en sentit entrada i molt més lleugers episodis de trànsit dens o de caigudes de velocitat en sentit sortida.
- El divendres es repeteixen en part els patrons de dies laborables però amb un canvi important. El volum d'entrada per la tarda, i per tant el episodis de retenció, disminueixen considerablement i per contra, el flux de sortida per la tarda experimenta un gran augment produint episodis de retenció d'importància.
- Els dissabtes trenquen l'esquema de sortida i entrada dels dies laborables amb uns fluxos d'entrada i de sortida no tan accentuats ni concentrats temporalment. Només es detecta, a última hora de la tarda, un moment de gran intensitat en sentit entrada amb el consegüent episodi de retenció, tot i que es pot deure a un event esportiu extraordinari celebrat el dia de la presa de dades i per tant podria tractar-se d'una distorsió.
- Els diumenges venen marcats especialment per la tornada de cap de setmana i els episodis de retenció que es produeixen en sentit entrada durant la tarda, mentre que la sortida presenta retencions molt localitzades tant temporalment com espacialment.



La distribució espacial i temporal dels episodis de retenció, si be presenta variacions depenent del tipus de dia, també apareix una certa regularitat en la repetició dels episodis en uns espais determinats, mentre que en altres ocasions, són específics a un dia tipus concret.

Per al sentit entrada destaca:

- La recurrència amb la que es produeixen retencions a l'entrada de Barcelona, retencions que moltes vagades s'estenen, depenent del dia i l'hora fins la intersecció amb l'A2. Aquestes retencions es produeixen pel matí els dies laborables i els divendres, i per la tarda els laborables, divendres, dissabtes i diumenges. Aquests dos últims dies cal matisar-los, ja que els dissabtes, aquest episodi es pot deure a un event extraordinari, com ja s'ha comentat més a dalt, i els diumenges es produeix amb retard respecte els altres dies. Cal destacar que aquest episodi adquireix importància tant per les baixes velocitats com per l'amplitud temporal, sempre superior a dos hores.
- Al tram entre la sortida de Sant Vicenç dels Horts i la intersecció de Molins de Rei amb la N-340, inclosos els trams compresos entre la sortida i l'entrada d'aquesta intersecció, es produeixen retencions superior a les dos hores els dies laborables i els divendres pel matí.
- Cal destacar, molt lligat a l'episodi de retenció anterior, que el tram més pròxim a la sortida de Sant Vicenç dels Horts registra velocitats que indiquen un trànsit dens de manera contínua tots els dies tipus.
- A l'AP-7 entre el peatge de Martorell i la intersecció del Papiol es produeix una retenció amb baixades importants de velocitat durant més de 3 hores.
- A la B-23 entre l'enllaç de l'A2 i la sortida de Sant Just els divendres per la tarda es produeix una retenció inferior a una hora.

Per al sentit sortida cal assenyalar:

- Entre l'enllaç de la N-340 a Molins de Rei i la intersecció amb l'AP-7 al Papiol es produeixen retencions més assíduament, els dilluns i laborables matí i els diumenges matí i tarda, tot i que no superen l'hora de durada.
- La sortida de Barcelona de la B-23 amb lleugeres baixades de velocitat tot i que en un espai temporal molt llarg.
- A la B-23 entre l'enllaç de Sant Just i l'enllaç amb l'A2 els divendres per la tarda amb una baixada important de la velocitat i una duració de quasi dos hores.



A partir d'aquests episodis de retenció es poden assenyalar la localització dels principals colls d'ampolla del corredor:

Per al sentit entrada:

- Entrada de Barcelona amb la reducció de 3 a 2 carrils i incorporació en el viari urbà semaforitzat.
- Les incorporacions de l'enllaç de Molins de Rei sobre una secció de 4 carrils.
- L'enllaç de l'AP-2 cap a l'AP-7 que es realitza en un desviament amb un perfil de dos carrils des d'una via de quatre carrils.
- Les entrades des de l'AP-2 i des de Sant Feliu de Llobregat. Sobre un perfil de dos carril es fa una incorporació d'altres dos, moment en que la via només augmenta un carril. A més a més, es produeixen altres dos incorporacions en menys de 1000 m.

Per al sentit sortida:

- L'enllaç de l'AP-2 cap a l'AP-7 que es realitza en un desviament amb un perfil de dos carrils.
- La sortida de Barcelona on es passa d'un perfil de quatre carrils a un altre de 2 i, on en un espai molt petit, es produeixen dos incorporacions sobre aquests carrils donant lloc a un perfil de tres carrils.
- El desviament des de la B-23 cap a l'A2 a partir d'un desviament amb un perfil de 2 carrils.

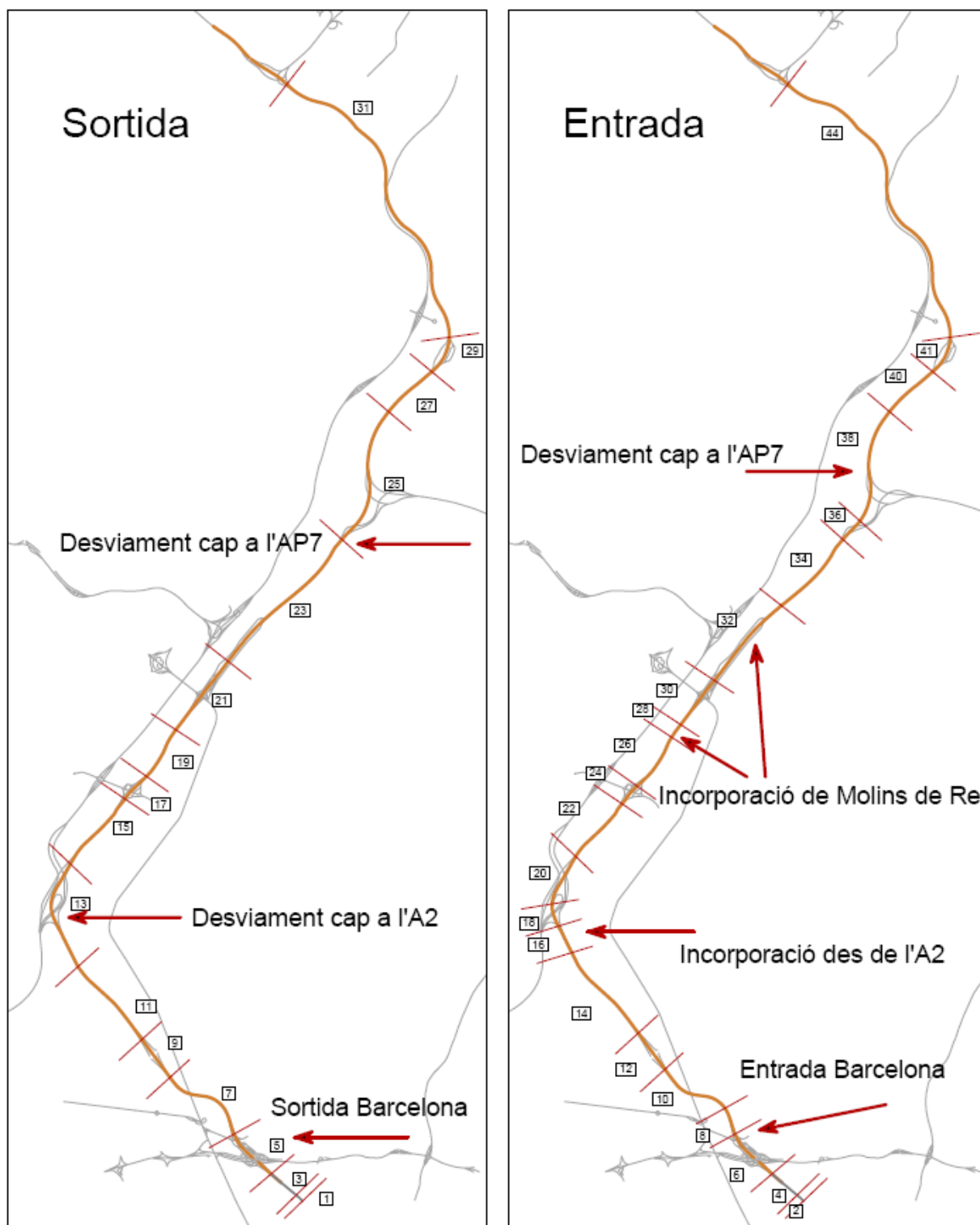


Figura 26. Localització dels principals colls d'ampolla en sentit sortida i entrada.
(Font: Elaboració pròpia)

6.4 AFECTACIÓ DE LES RETENCIONS

L'afectació de les situacions de trànsit dens o retencions es quantifica amb la variable vehicles · quilòmetre, que representa els quilòmetres recorreguts pel total de vehicles a velocitats inferiors a 80 Km/h en una tipologia de dia patró.



D'aquesta manera es poden saber la quantitat de quilòmetres que s'han recorregut al dia a la via d'estudi pel total de vehicles en situacions de trànsit dens.

Si ens fixem a la Figura 27, es pot observar que tal com cabia esperar, en ambdós sentits de circulació, les majors retencions es donen en els dies patró que no son cap de setmana, tant en volum de veh · Km afectats com en percentatge respecte del total i, a més a més les retencions del sentit entrada són molt més significatives que les del sentit sortida. No obstant, és necessari remarcar la important retenció que s'ocasiona els diumenges tarda en sentit d'entrada a Barcelona, com a resposta de la tornada dels desplaçaments de cap de setmana, així com la rellevant retenció dels divendres tarda en sentit sortida. També es pot observar que hi ha una quantitat important de veh · Km recorreguts per trànsit dens el diumenge en sentit sortida de Barcelona, degut segurament a l'existència d'alguna incidència de trànsit que provoca una petita reducció de la velocitat de circulació.

Vehicles * Kilometro afectats per situacions de tràfic dens o retencions per dia de la setmana - Sentit Entrada

		Dilluns		Feiner		Divendres		Dissabte		Diumenge	
		< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h
VEH*Km	Entrada matí	sense dades	sense dades	52.942	40.151	45.342	39.481	-	7.845	-	2.726
	Entrada tarda	sense dades	sense dades	41.679	61.503	2.655	51.283	26.675	33.859	14.882	135.422

Percentatge de vehicles*Kilometro afectats per situacions de tràfic dens o retencions sobre el total de veh/km diari - Sentit Entrada

		Dilluns		Feiner		Divendres		Dissabte		Diumenge	
		< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h
VEH*Km	Entrada matí	sense dades	sense dades	4,8%	3,6%	3,9%	3,4%	0,0%	0,9%	0,0%	0,3%
	Entrada tarda	sense dades	sense dades	3,8%	5,5%	0,2%	4,4%	3,0%	3,9%	1,7%	15,1%

Vehicles * Kilometro afectats per situacions de tràfic dens o retencions per dia de la setmana - Sentit Sortida

		Dilluns		Feiner		Divendres		Dissabte		Diumenge	
		< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h
VEH*Km	Sortida matí	9.424	4.486	-	11.688	-	703	-	642	-	4.283
	Sortida tarda	-	5.525	-	16.573	8.810	26.442	-	695	2.136	8.036

Percentatge de vehicles*Kilometro afectats per situacions de tràfic dens o retencions sobre el total de veh/km diari - Sentit Sortida

		Dilluns		Feiner		Divendres		Dissabte		Diumenge	
		< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h	< 60 km/h	60 - 80 km/h
VEH*Km	Sortida matí	0,8%	0,4%	0,0%	1,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,5%
	Sortida tarda	0,0%	0,5%	0,0%	1,4%	0,7%	2,0%	0,0%	0,1%	0,3%	1,0%

Figura 27. Percentatge de veh · Km en trànsit dens per tipus de dia.

(Font: Elaboració pròpia)

Per tant, el percentatge de quilòmetres recorreguts afectats per trànsit dens, és d'aproximadament el 18% en la tipologia de dia més desfavorable, corresponent als dies laborables i els diumenges en sentit d'entrada a Barcelona.



A la Figura 28, es representen al llarg del temps els episodis en que la circulació mitjana en algun tram és inferior a velocitats de 80 Km/h. Es pot observar clarament com es produeixen més situacions de congestió per la tarda que pel matí, així com retencions més importants en sentit d'entrada a Barcelona que no pas en sentit Sortida.

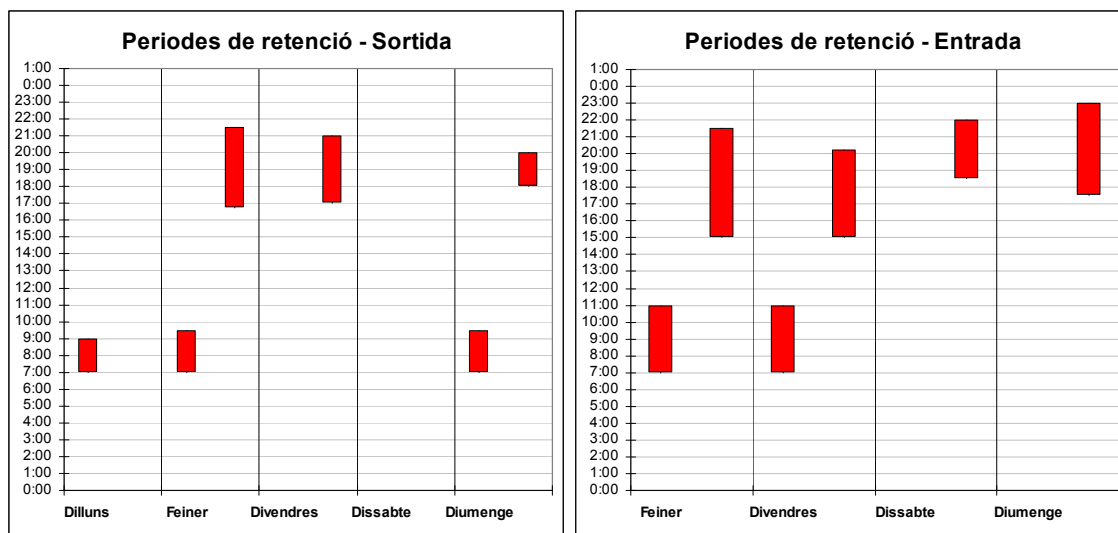


Figura 28. Distribució temporal dels episodis de trànsit dens.
(Font: Elaboració pròpia)



7. AVALUACIÓ AMBIENTAL

7.1 INTRODUCCIÓ

A finals del segle XX i els inicis de l'actual es caracteritzen per la constatació dels beneficis que comporta un medi ambient en bones condicions per la salut de les persones. Un dels fenòmens que malmeten el medi ambient és la pol·lució, ja sigui de forma líquida o gasosa.

El present estudi s'enfoca cap a la contaminació atmosfèrica, l'origen temporal de la qual el podem situar a la revolució industrial. Però, aquest estudi no abasta tota la pol·lució atmosfèrica, sinó que tracta la contaminació deguda al transport per carretera, una de les principals fonts de pol·lució.

Normalment es defineix la contaminació atmosfèrica com la alteració de la atmosfera terrestre per l'addició de gasos o partícules sòlides o líquides en suspensió en concentracions diferents a les naturals. Aquestes variacions poden causar efectes significants en persones, animals, vegetació i materials.

Aquesta contaminació prové de diferents fonts d'emissió, que es poden agrupar en diferents tipologies. Per aquest estudi, es tindran en compte un tipus de fonts antropogèniques que, com el seu nom indica, són aquelles fonts d'emissió degudes a l'activitat humana. Aquestes, es poden subdividir en dues categories més, les fonts urbanes i industrials i les fonts agrícoles i rurals. D'aquesta manera, les fonts urbanes estan compostes per les centrals de generació d'energia elèctrica a partir de combustibles fòssils, indústries i plantes manufactureres, el transport, processos emissors (com calefaccions domèstiques, forns, etc.), eliminació de residus i activitats de la construcció.

El transport, tant per carretera com marítim, aeri i per ferrocarril, està format per fonts mòbils, que provoquen que sigui difícil realitzar un seguiment. A més a més, es caracteritza per ser una font d'emissions dispersa o difusa, ja que s'emet per un conjunt de fonts puntuals menors en una regió i no en un punt.

El sector del transport genera diverses emissions contaminants, atès a la natura dels combustibles d'origen fòssil que majoritàriament s'utilitzen: CO₂, CO, HC, NO_x, SO₂ i partícules sòlides. Els principals contaminants atmosfèrics emesos pels vehicles són: fums negres, monòxid de carboni, hidrocarburs, òxids de sofre, plom i òxids de nitrogen. La quantitat de gasos depèn, tanmateix, de factors com el tipus de vehicle (antiguitat, potència, combustible, etc.), el tipus de via o les característiques de la conducció.

L'increment de la demanda de mobilitat dels ciutadans dels països desenvolupats i les previsions respecte a l'evolució del nombre de vehicles i de desplaçaments han fet que el sector del transport hagi esdevingut el principal consumidor d'energia i, com a conseqüència, el principal emissor de contaminants a l'atmosfera.



Un cop es produeix l'emissió, els compostos es distribueixen per l'atmosfera mitjançant un procés de dispersió que depèn principalment dels factors específics del contaminant com la temperatura, la forma, el tamany i la velocitat de sortida, i dels factors meteorològics com la velocitat del vent, els gradients de temperatura de l'aire i les turbulències atmosfèriques.

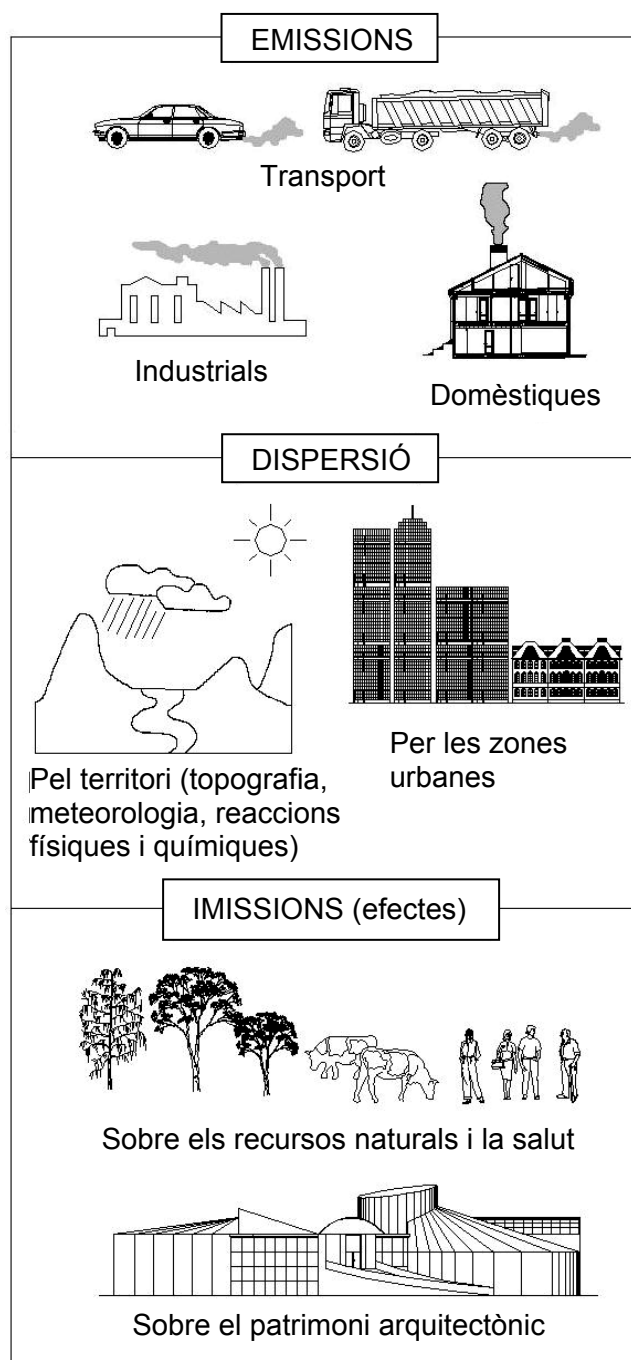


Figura 29. Procés de contaminació
(Font: Elaboració pròpia)



No obstant, l'avaluació dels contaminants a l'atmosfera està relacionada amb la idea d'immissió, és a dir, la concentració dels contaminants a l'ambient gasós, en punts suficientment allunyats de les fonts d'emissió com per no poder discernir quina d'elles és la causant dels nivells de contaminació. Són per tant, els nivells d'immissions els que determinen l'efecte d'un contaminant sobre la salut o el medi ambient.

Els efectes de la contaminació de l'aire poden ser crònics o aguts. Els primers són aquells associats a rebre l'impacte de nivells d'immissió moderats durant llargs períodes de temps. Els segons són aquells produïts al rebre l'impacte de nivells d'immissió molt elevats durant curts intervals de temps.

La contaminació és un gran problema mundial que provoca que diferents països de tots els continents estiguin aplicant mesures per tal de reduir la contaminació. A continuació es mostren algunes mesures com a exemples (Earth Policy Institute, 2002).

A Nova Delhi (Índia), des del 1995 els nivells de contaminació han disminuït en aproximadament un 25%. A l'any 1998 els vehicles industrials de més de 15 anys van ser prohibits i tots els vehicles de transport públic tenen la obligació de canviar de forma gradual de combustible dièsel a gas natural comprimit (GNC). També van tancar varies indústries i es va ampliar la xarxa de ferrocarril.

A Hong Kong, el 90% dels taxis s'han convertit de combustible dièsel a gas liquat de petroli (GLP) en els últims anys amb ajudes financeres del govern. A més a més, des de l'any 2000, tot el combustible dièsel venut ha sigut amb molt baixes quantitats sofre i el govern promou la substitució dels autobusos que consumeixen dièsel per autobusos elèctrics o que consumeixin GLP.

A Londres (Regne Unit), a partir de l'any 2003 els usuaris que entren al centre de Londres amb vehicle privat han de pagar 7\$ durant les 07:00h fins a les 19:00h per tal de reduir el trànsit un 15% entre setmana.

A Curitiba (Brasil), el trànsit ha disminuït un 30% i la població ha augmentat fins a duplicar-se en els últims 30 anys per la utilització de carrils ràpids exclusius per autobusos i promoure el transport públic.

A Bogotá (Colòmbia), des de l'any 1995 la ciutat ha restringit el trànsit durant les hores punta un 40% i ha augmentat els impostos associats als combustibles. A més a més, cada diumenge, 120 Km de les artèries principals de la ciutat es tanquen des de les 07:00h fins a les 19:00h, per tal que els carrers s'utilitzin per trajectes en bicicleta, a peu i per lleure.

7.1.1 La contaminació ambiental i la salut humana

Els vehicles a motor són actualment una causa molt important de contaminació en la majoria de les ciutats europees. Les emissions dels vehicles i el transport



tenen efectes molt importants sobre el medi ambient urbà provocant la destrucció de la capa d'ozó, l'efecte hivernacle, l'smog fotoquímic i l'acidificació del medi (pluges àcides). Però a més a més, tenen efectes molt importants sobre la salut dels habitants.

Segons estudis epidemiològics realitzats per la OMS (Organització Mundial de la Salut) i altres organismes nacionals e internacionals dedicats a la investigació en salut pública, les emissions del trànsit tenen efectes a curt, mig i llarg termini sobre el benestar dels ciutadans, provocant que 80.000 adults majors de 35 anys morin cada any a les ciutats europees a causa de la contaminació atmosfèrica. Aquests estudis, a més a més constaten que és molt difícil definir llindars per sota dels quals no es produeixen efectes sobre la salut.

Els efectes a curt termini són la irritació dels ulls, nas i coll, infeccions respiratòries, atacs d'asma, atacs de cor i cerebral, així com alteracions en el bombeig de la sang i en l'arribada d'oxigen al cor. En canvi, els efectes més rellevants a llarg termini són un desenvolupament pulmonar més lent en nens, malalties respiratòries cròniques, càncer de pulmó, limitació arterial, malalties del cor, i fins i tot, danys potencials al cervell i a altres òrgans.

Efectes de la contaminació urbana sobre la salut	
Sistema pulmonar	Sistema cardiovascular
Canvis fisiològics i estructurals	
Expiració forçada en volum i flux	Augment de la freqüència cardíaca
Inflamació (local i sistemàtica)	Augment de les pulsacions
Remodelació de les vies respiratòries	Variacions en la coagulació de la sang
	Inflamació
	Estructura dels vasos sanguinis
	Variacions en la pressió arterial
Efectes aguts	
Empitjorament de la bronquitis crònica i l'asma	Trombosis
Síntomes respiratoris	Infart de miocardi
Ús de la medicació per l'asma	Arrítmia
Absentisme en el treball i a les escoles	Atac cerebral
Mort	Mort
Ús del sistema sanitari per aquests efectes	Ús del sistema sanitari per aquests efectes
Efectes crònics	
Reducció de les funcions pulmonars	Arteriosclerosi
Bronquitis crònica	Reducció de l'esperança de vida
Càncer de pulmó	(per morts cardiovasculars prematures)
Principis d'asma	
Reducció de l'esperança de vida	

Figura 30. Efectes de la contaminació urbana sobre la salut.
(Font: Künzli and Tager, 2005)



Cal destacar que alguns individus són molt més sensibles a certs contaminants que altres. Així els nens petits, les persones grans i les persones amb problemes de salut per altres causes pateixen més els efectes de la contaminació atmosfèrica.

7.1.2 Contaminants principals de l'atmosfera

Els compostos i elements contaminants es poden classificar segons molts criteris (estat, toxicitat, reactivitat, etc.), si bé habitualment es té en compte la seva composició química:

- Partícules: segons la mida, són sedimentables ($>30\ \mu\text{m}$), partícules en suspensió ($<30\ \mu\text{m}$), partícules respirables ($<10\ \mu\text{m}$), o fums ($<1\ \mu\text{m}$).
- Compostos de sofre: SO_2 , H_2S , H_2SO_4 mercaptans, sulfurs ...
- Compostos de nitrogen: NO , NO_2 , NO_x , NH_3 ...
- Compostos de carboni: CO , CO_2 , CH_4 , HCT...
- Halògens i compostos halogenats: Cl_2 , HCl , HF , CFC ...
- Oxidants fotoquímics: O_3 , peròxids, aldehids...

L'atmosfera està formada per una gran varietat de substàncies, principalment per nitrogen (N_2) i oxigen (O_2) i alguns gasos nobles. La concentració d'aquests elements es pot considerar que no varia. Addicionalment hi ha substàncies presents a concentracions molt baixes, respecte les primeres, que no són constants geogràficament i temporalment, com el vapor d'aigua o el CO_2 . A la Figura 31 es donen en concentracions mitjanes, tant les substàncies que formen l'atmosfera seca i neta (sense contaminants), com els contaminants principals.

Atmosfera neta		Principals contaminants	
Gas	Concentració mitjana	Contaminant	Concentració mitjana (ppm)
N_2	780840	CO_2	380
O_2	209460	CH_4	1,7
Ar	9340	N_2O	0,311
Ne	18,2	CO	0,05 – 0,2
Kr	1,1	SO_2	$10^{-5} - 10^{-4}$
Xe	0,09	NH_3	$10^{-4} - 10^{-2}$
He	5,2	NO_x	$10^{-6} - 10^{-2}$
H_2	0,58	HNO_3	$10^{-5} - 10^{-3}$
H_2O	0,1 - 40000	O_3	$10^{-2} - 10^{-1}$

Figura 31. Concentracions de gasos de l'atmosfera.

(Font: Pal Arya, 1999)



7.1.3 Principals contaminants emesos pels vehicles

Aquest apartat introdueix els principals pol·luents atmosfèrics emesos pels vehicles de transport per carretera, per tal de centrar la visió al camp d'aquest estudi. La seva emissió depèn de diferents factors com: el tipus de vehicle, el combustible que usa, el tipus de via per la que es circula (cada via té un règim de velocitats normals, pendents i corbes que fan accelerar i frenar), la velocitat, la càrrega del vehicle, el quilometratge (amb el temps i el quilometratge els motors es van descompensant), la temperatura del motor (emissions en fred ($T < 70^{\circ}\text{C}$) i emissions en calent ($T > 70^{\circ}\text{C}$)), i sobretot, la conducció que pot ser brusca (moltes accelerades i frenades) o suau. Per tant, els principals contaminants emesos per vehicles són:

Diòxid de carboni: El transport n'és una de les principals fonts antropogèniques.

Monòxid de carboni: Generat per la combustió incompleta de carburant. Pot arribar a nivells elevats en embussos de trànsit. Es calcula que aproximadament el 85% del CO emès a Catalunya prové del transport per carretera.

Òxids de sofre: Una petita part de les emissions d'aquests òxids provenen del transport, i són deguts a la combustió de certs combustibles que contenen sofre.

Òxids de nitrogen: Deguts a la reacció del nitrogen i l'oxigen de l'aire a altes temperatures. S'estima que el 65% dels NOx emesos a Catalunya provenen del transport.

Fums negres, aerosols o partícules (PM): Creats per la combustió incompleta, sobretot en motors mal regulats. Estan compostos sobretot per partícules de carbó i hidrocarburs.

Hidrocarburs: Productes que es generen per la combustió incompleta dels carburants i per evaporacions del dipòsit de combustible.

Plom: A partir de l'agost del 2001, fou retirada del mercat la gasolina súper donant lloc a gasolines sense plom, per tant, des d'aquella data les emissions de plom, degudes al transport, són nul·les.

Principals fonts antropogèniques (Transport)	SO ₂	NO ₂	CO	H ₂ S	VOC	HCl	Cl ₂	PST	Pb	Altres metalls pesants
Gasolina		x	x		x			x	x	
Dièsel	x	x			x			x		
Sense plom		x	x		x			x		

Figura 32. Contaminants emesos per les principals fonts.
(Font: Generalitat de Catalunya, 2006)



Cal destacar que tots els factors abans esmentats son molt importants, però es necessari tenir en compte que la velocitat té un paper molt decisiu en les emissions que es produeixen. En les Figures 33 i 34 es mostra la influència de la velocitat en las emissions de determinats contaminants, mentre que les Figures 35 i 36 corresponen a la relació entre els factors d'emissions i la velocitat, segons la tipologia de vehicle, realitzades per la Direcció General de Qualitat Ambiental de la Generalitat de Catalunya en 2006.

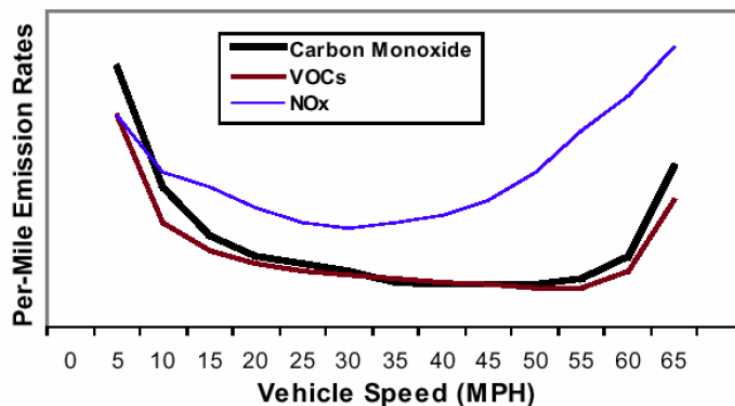


Figura 33. Variació dels índexs d'emissions en funció de la velocitat per diferents contaminants.

(Font: Victoria Transport Policy Institute (VTPI), 2002)

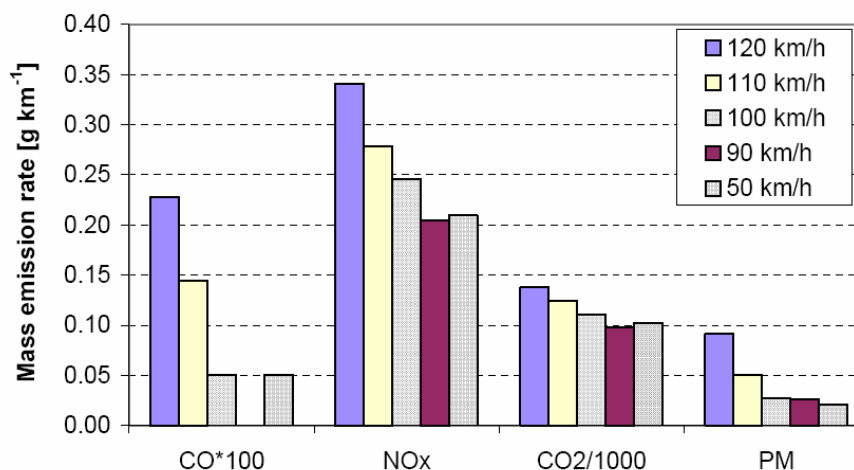


Figura 34. Variació dels índexs d'emissions en funció de la velocitat per diferents contaminants.

(Font: ARTEMIS, 2003)

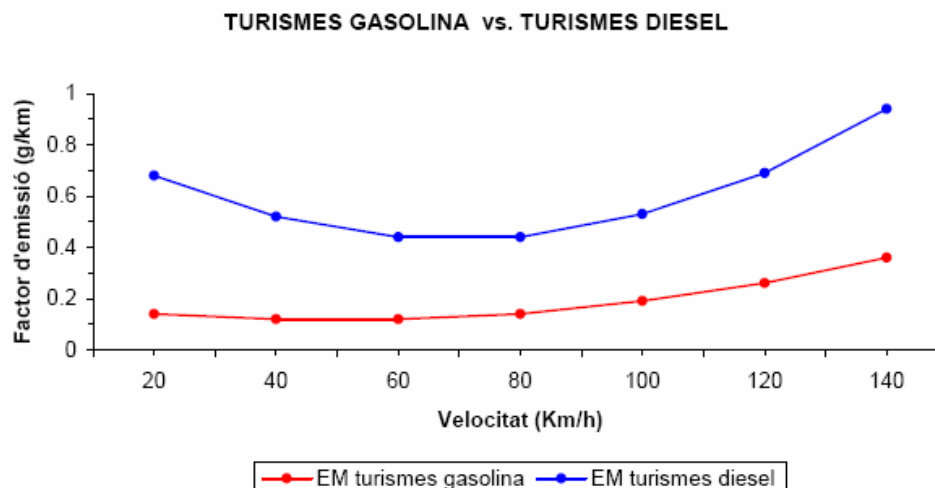


Figura 35. Variació dels índexs d'emissions d'òxids de nitrogen en funció de la velocitat de vehicles Euro3.

(Font: Direcció General de Qualitat Ambiental, 2006)

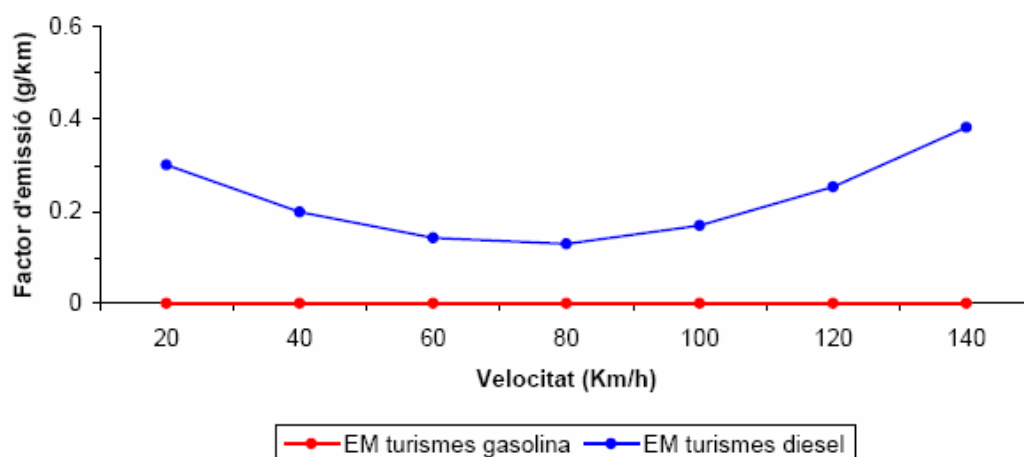


Figura 36. Variació dels índexs d'emissions de partícules inferiors a 10 micres en funció de la velocitat de vehicles Euro3.

(Font: Direcció General de Qualitat Ambiental, 2006)

No obstant, el present document calcula les emissions contaminants degudes a dues substàncies que tenen una gran incidència sobre els efectes medi ambientals de la contaminació: les partícules amb diàmetres inferiors a 10 micres (PM_{10}) i els òxids de nitrogen (NO_x).

A les Figures 37 i 38 es pot observar l'evolució d'aquestes dues substàncies a la zona geogràfica d'estudi. En verd es mostren els rangs de valors inferiors al valor límit i en groc es mostren els rangs de valors dintre del marge de tolerància. En ambdues situacions, la tendència existent és a incrementar-se els valors d'aquestes substàncies amb les greus conseqüències que això comporta, ja que a l'actualitat estan per sobre dels valors límits i del marge de tolerància a la gran part dels municipis que formen l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

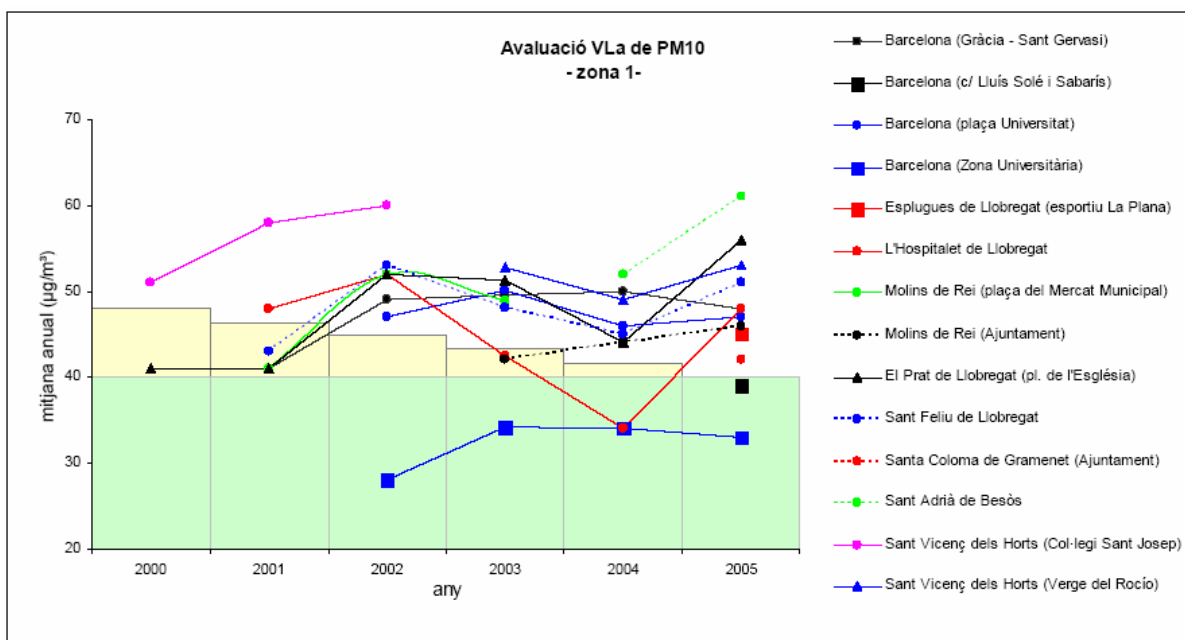


Figura 37. Evolució de la mitjana anual de les partícules inferiors a 10 micres a l'Àrea Metropolitana de Barcelona.
(Font: Direcció General de Qualitat Ambiental, 2007)

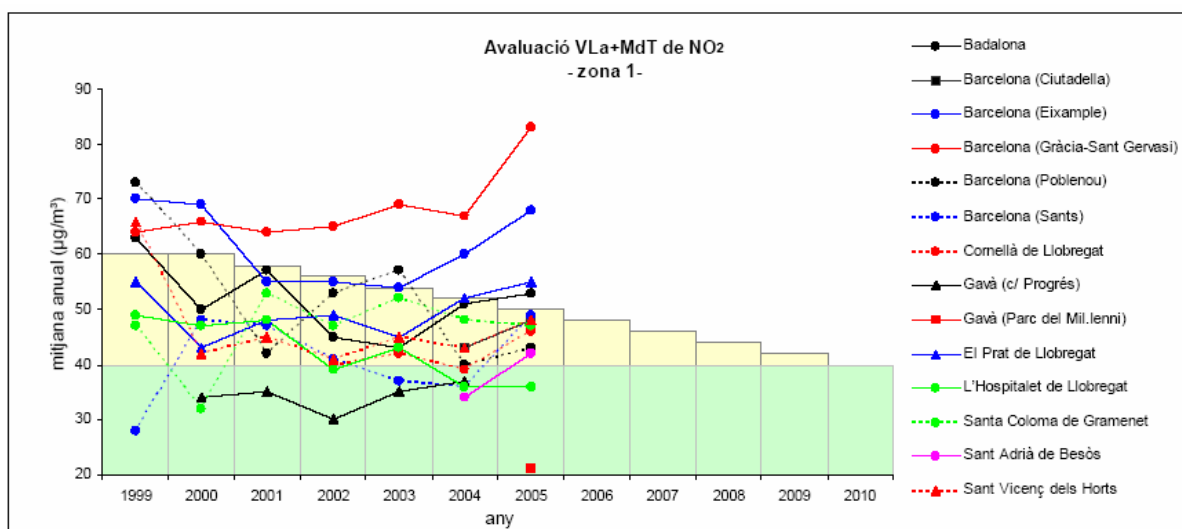


Figura 38. Evolució de la mitjana anual dels òxids de nitrogen a l'Àrea Metropolitana de Barcelona.
(Font: Direcció General de Qualitat Ambiental, 2007)

7.1.4 Mètodes per calcular el consum d'energia i les emissions produïdes

Existeixen diversos mètodes per calcular el consum d'energia i les emissions produïdes pel trànsit. Aquests mètodes depenen de la substància contaminant que s'analitza, del mitjà de transport i de la tipologia de vehicle que s'utilitza. La utilització d'un determinat mètode i no un altre resulta inevitable ja que per a



cada cas les dades disponibles varien en quantitat i qualitat. Aquests mètodes es poden classificar en quatre grups diferents.

- **Càlcul basat en l'activitat del transport:** És el mètode bàsic per dur a terme el càlcul de les emissions més comunes produïdes pels vehicles terrestres i per calcular el consum d'energia dels mitjans de transport no terrestres. Les emissions que es calculen per aquest mètode es poden dividir en emissions en calent, emissions en fred i emissions per evaporació.
- **Càlcul basat en el consum d'energia:** És el mètode estàndard per dur a terme el càlcul de les emissions ocasionades pels mitjans de transport no terrestre i, de les emissions de SO₂ i Pb produïdes pel trànsit rodat. La tipologia d'emissions que s'inclouen en aquest mètode estan relacionades directament amb les emissions en calent, en fred i per evaporació que s'obtenen del mètode anterior.
- **Càlcul del balanç de carboni:** El càlcul del consum de combustible o les emissions de diòxid de carboni (CO₂) es poden realitzar mitjançant una equació que representa la quantitat de carboni que queda en el carburant i les substàncies combustibles que apareixen en ell. Aquest mètode permet obtenir també informació desglossada per emissions en calent, fred i per evaporació.
- **Càlcul de substàncies contaminants específiques:** Alguns elements contaminants es consideren com a subcategories d'altres (determinades espècies específiques de COV formen part de la categoria global de COV, etc.). Per tant, és necessari realitzar estimacions sobre els elements contaminants principals i detallar de manera específica les subcategories segons la seva espècie i dimensió. Tal com succeeix en els altres mètodes, aquest mètode permet obtenir informació desglossada per emissions en calent, fred i per evaporació.

7.1.5 Models d'emissions produïdes pel transport per carretera

Des de la dècada de 1970 es venen realitzant en alguns països europeus estimacions sobre les emissions contaminants ocasionades pel transport per carretera a nivell nacional i local com a part dels diversos estudis realitzats sobre els efectes ocasionats per la contaminació. Els mètodes utilitzats s'han anat perfeccionant i desenvolupant des d'aleshores, degut principalment a la quantitat, tipologia i qualitat de les dades de les quals es disposava.

Actualment s'utilitzen principalment tres mètodes que poden variar fonamentalment en la forma en que cada un tracta la interacció entre el funcionament del vehicle i les corresponents emissions que ocasiona.

D'aquests, el més antic es basa en el fet de que les emissions mitjanes que tenen lloc durant un trajecte determinat varien depenent de la velocitat mitjana en la que es realitza el trajecte. Els perfils característics dels gràfics velocitat –



emissions es poden observar a la Figura 39, i encara que varien en funció de la tipologia de vehicle i de la substància contaminant que s'estigui analitzant, reflexen emissions elevades a una velocitat baixa (quan el rendiment del vehicle no es suficientment efectiu degut a una situació de "stop & go" en que es produeixen parades i arrencades intermitents), emissions mínimes a velocitats mitjanes i una tendència a emissions elevades amb velocitats altes.

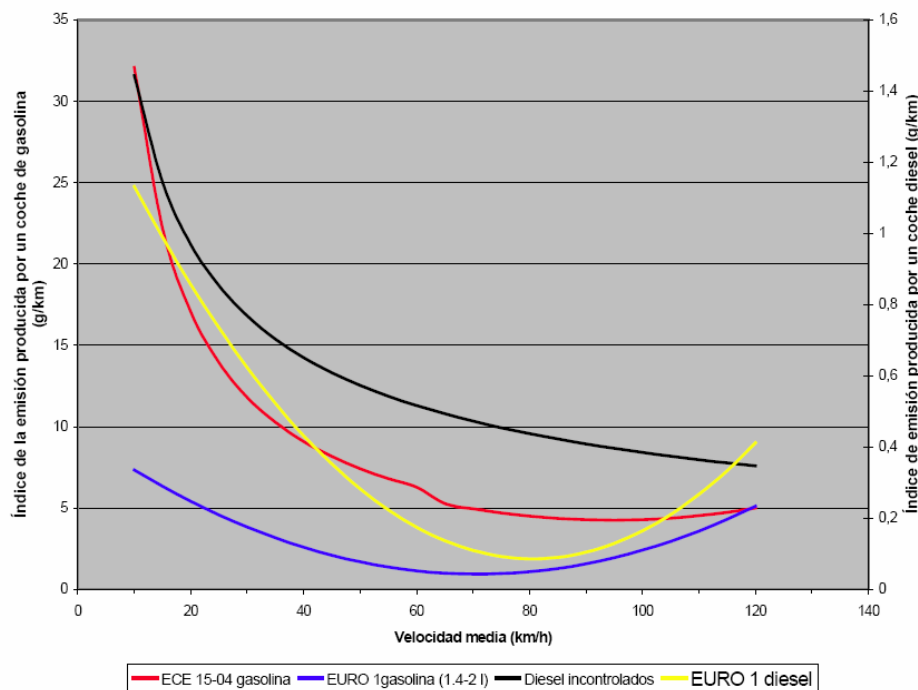


Figura 39. Emissions de monòxid de carboni produïdes pels vehicles lleugers depenent de la velocitat mitjana del vehicle.

(Font: Hickman, 1999)

Les mesures del les que es deriven les gràfiques de velocitat – emissions es solen dur a terme gràcies a un dinamòmetre col·locat en el vehicle, des d'on es realitza el test després d'un determinat cicle de conducció, al mateix temps que es recullen i analitzen les emissions ocasionades durant aquest cicle. La relació que tenen aquestes emissions amb la velocitat mitjana del vehicle es determina combinant resultats dels tests realitzats durant diferents cicles de conducció a diverses velocitats mitjanes.

No obstant, la variabilitat d'aquesta velocitat mitjana no és sempre la mateixa per tots els vehicles d'un determinat trajecte. D'aquesta manera es va plantejar el segon mètode de models d'emissions. En conseqüència, en el *Handbuch der Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs*, d'origen suís / alemany, per a cada situació de trànsit, substància contaminant i tipologia de vehicle, es va aplicar un únic factor d'emissió. Aquests factors d'emissió utilitzats mostren un patró general similar a aquells reflexats en les corbes velocitat emissions, però no s'ajusten a una funció tan uniforme. En la Figura 40 es pot observar la relació entre ambdós mètodes exposats de manera que en la franja que va de 60 a 80



km/h, la corba que representa la relació entre les variables velocitat i emissions genera uns índexs d'emissions que varien aproximadament entre 0,95 i 1,1 g/km, mentre que els índexs d'emissions del Handbuch varien entre 0,9 i 2 g/km degut a aquesta variabilitat en la distribució de velocitats al llarg del trajecte.

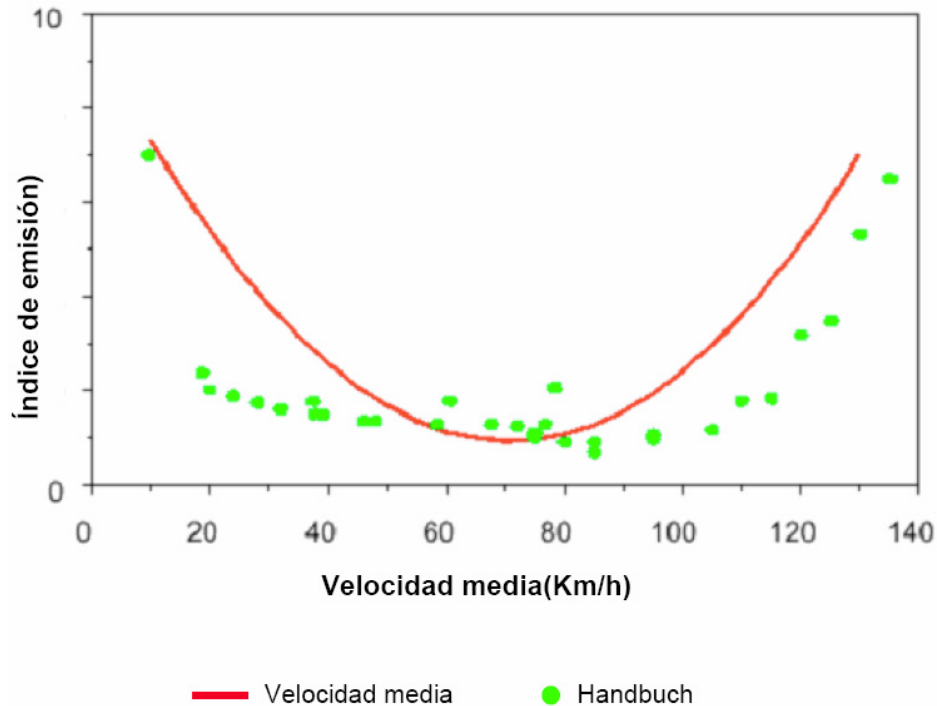


Figura 40. Comparació entre els índexs d'emissions recollits en el *Handbuch* i un gràfic que mostra la relació velocitat – emissions de CO en vehicles lleugers de tipus Euro 1.

(Font: ENEA, 2003)

La tercera tipologia de models actuals d'emissions utilitza una altra variable numèrica més, amb la finalitat de descriure el funcionament del vehicle més detalladament. Aquesta segona variable sol ser l'índex d'acceleració o potencia necessària en el motor del vehicle. Aquest model ja no pretén calcular les emissions mitjanes produïdes durant un desplaçament, sinó que assigna un índex d'emissió a cada combinació instantània de les dues variables escollides (les unitats temporals solen ser menors a 1 minut, ja que les dades utilitzades en aquests models instantanis solen provenir de mesures contínues de velocitat i d'emissions).

L'aplicació d'aquesta tipologia de model requereix l'especificació dels perfils de la velocitat desenvolupada durant un itinerari, i la integració dels factors d'emissió corresponents a cada un dels parells velocitat – acceleració recollits cada unitat de temps. Si, a més a més s'utilitzen les dades d'un vehicle tipus durant més d'un únic desplaçament, s'obtenen uns resultats més generals.

No obstant, per un conjunt de raons, el mètode més utilitzat per tal d'estimar les emissions totals és el que té en compte les velocitats mitjanes de circulació.



Cal destacar que les millores que es poden introduir en els models amb l'aplicació de les distribucions de velocitats son molt escasses i no quantificables, ja que els factors d'emissions que s'utilitzen corresponen a formulacions empíriques en funció del tipus de vehicle i velocitat que generalitzen els resultats, obtenint una certa incertesa.

És recomanable la utilització dels mètodes d'emissió instantanis, per obtenir més fiabilitat en els resultats, en aquells casos en que la dinàmica de conducció i el comportament davant el volant tinguin un major interès (situacions de trànsit amb moltes variacions).

7.2 ESTIMACIÓ DE LES EMISSIONS CONTAMINANTS PRODUÏDES PEL TRÀNSIT

Per tal de determinar la contaminació ambiental s'utilitzarà el mètode proposat a EMEP / CORINAIR (apartat B-710) de European Environment Agency per tal de determinar els factors d'emissions. Aquest procediment ofereix una informació molt detallada de l'emissió dels contaminants a l'atmosfera, considerant els principals gasos emesos pels vehicles. La principal variable que ens permet calcular la contaminació de la via serà la velocitat.

7.2.1 Metodologia

En termes generals, l'estimació de les emissions ocasionades pel trànsit es basa en la següent equació:

$$E = e \cdot a \quad [41]$$

On: E és la quantitat d'emissió total.
 e és l'índex d'emissió per unitat d'activitat.
 a és la quantitat d'activitat del transport.

Aquesta equació és aplicable a qualsevol nivell, des d'un únic motor fins a tota una flota de vehicles, i des d'una única carretera fins a la totalitat del territori.

Les emissions que els vehicles realitzen a l'atmosfera es divideixen en 3 tipus, segons el moment en que es produeixen.

$$E = E_{calent} + E_{fred} + E_{evaporació} \quad [42]$$

On: E_{calent} és la quantitat d'emissió produïda quan el motor està calent.
 E_{fred} és la quantitat d'emissió produïda quan el motor està fred.
 $E_{evaporació}$ és la quantitat d'emissió produïda per evaporació (només per COV).



Les emissions relacionades amb encendre els vehicles són les que es produeixen en els primers quilòmetres, en que el motor es troba fred (E_{fred}). El valor depèn de la temperatura del vehicle, de la velocitat mitjana de circulació, de la distància que s'ha recorregut durant aquests primers moments, de l'existència de catalitzador i de la tipologia de contaminant a analitzar. En aquest estudi s'ha considerat despreciable la representabilitat d'aquest valor, ja que no suposa valors majors al 5% del total d'emissions en condicions de congestió o àmbit urbà i, a més a més, només es produeix durant els dos primers quilòmetres després d'encendre el vehicle, considerant-se en el nostre cas (àmbit interurbà) que al arribar a la via d'accés de l'estudi ja s'ha recorregut aquesta distància.

Les emissions per evaporació ($E_{evaporació}$) es produeixen de diverses maneres degudes a la volatilitat del combustible combinada amb les variacions de la temperatura ambient i dels propis vehicles. Com que el combustible s'evapora cada cop que entra en contacte amb l'aire i hi ha una variació de temperatura, ja sigui durant un trajecte o després del seu ús, contínuament s'escapa combustible en forma de vapor en el dipòsit dels vehicles. Les temperatures diürnes (majors que les nocturnes) fan que el combustible evaporat s'expandeixi i es lliberi a través del dipòsit. No obstant, tal com passava amb el tipus d'emissió anterior, s'ha optat per no comptabilitzar aquestes emissions ja que a més a més de tenir valors molt petits respecte les emissions totals, només es poden comptabilitzar en el cas d'analitzar els compostos orgànics volàtils (COV), que no és objecte del present anàlisi.

Les emissions en calent (E_{calent}) són generades pel motor quan aquest ha assolit la temperatura d'operació normal, comportant un valor d'emissions molt important que es produeix de manera permanent sempre que el motor es troba encès.

D'aquesta manera, les emissions totals que s'envien a l'atmosfera a la via d'estudi venen determinades per les emissions en calent:

$$E = E_{calent_{i,j}} \quad [43]$$

On: i és la substància d'emissió.
 j és la tipologia de vehicle que emet l'emissió.

Cadascuna d'aquestes parts que integren l'emissió total depenen d'un factor d'emissió i d'un o més paràmetres que estan relacionats amb el funcionament del vehicle i, per tant, en general es compleix la relació següent:

$$E_{calent_{i,j}} = N_j \cdot M_j \cdot e_{calent_{i,j}} \quad [44]$$



On: N_j és el nombre de vehicles de la tipologia j .
 M_j és la distancia recorreguda pels vehicles de la tipologia j .
 $e_{calent\ i,j}$ és el factor d'emissió representatiu per a cada tipologia d'emissió i de vehicle.

Aquests principis s'apliquen, amb algunes excepcions, a tota substància contaminant i a tota tipologia de vehicle. No obstant, vehicles de diferent tipologia es comporten de forma diferent en quant a les emissions que es produeixen i les característiques del seu funcionament varien segons la substància contaminant que s'està analitzant. Per aquesta raó, l'estimació de les emissions produïdes pel trànsit de diferent tipologia s'han de realitzar considerant cada tipologia d'emissió particular com a part de la suma de totes les emissions produïdes per cada classe de vehicle que integra el total del trànsit, analitzant d'aquesta manera cada substància contaminant de manera individual.

Per a les emissions en calent, el corresponent factor d'emissió ($e_{calent\ i,j}$), s'expressa principalment com una funció de la velocitat dels vehicles, podent-se adoptar dues alternatives de càlcul. Aquestes alternatives consisteixen, d'una banda, en considerar una única velocitat mitjana per a l'interval temporal i tram considerats o d'altra banda, considerar una funció de distribució de les velocitats al llarg del temps en les trams considerats, obtenint les següents expressions genèriques:

Primera alternativa:
$$e_{calent\ i,j} = e_{i,j}(V) \quad [45]$$

Segona alternativa:
$$e_{calent\ i,j} = \int [e_{i,j}(V) \cdot f(V)] dV \quad [46]$$

On: $e_{i,j}(V)$ és l'expressió del factor d'emissió en funció de la velocitat mitjana dels vehicles.
 $f(V)$ és la funció de distribució de les velocitats mitjanes.

És evident que la primera alternativa resulta una simplificació de la metodologia a aplicar. No obstant, encara que aquesta simplificació no afecti considerablement els resultats en anàlisis macroscòpics, com que l'estudi de la via a analitzar és de caire microscòpic amb situacions de molta variabilitat de la velocitat degut a situacions de congestió en diferents punts de la via, la fiabilitat dels resultats es reduiria considerablement.

Per tant, en el present estudi es tria la segona alternativa amb una petita simplificació degut a la naturalesa de les dades disponibles. Com que no es disposen de dades continues de velocitat, la simplificació consisteix en no tenir



una distribució continua de velocitats al llarg del temps, sinó una distribució esglaonada de velocitats cada 15 minuts per trams homogenis de reduïda longitud al llarg de tota la via d'estudi. D'aquesta manera la fiabilitat dels resultats es veu incrementada al particularitzar la metodologia per a la via concreta a analitzar, ja que hi ha diferències considerables respecte l'àmbit d'aplicació normal de la metodologia proposada. Aquesta metodologia es solia plantejar per obtenir les emissions enviades a l'atmosfera de totes les vies d'una zona geogràfica extensa (normalment de caràcter autonòmic o estatal) a partir de la mobilitat del parc automobilístic de la zona. En canvi, les característiques de l'estudi són molt diferents, ja que es parteix de dades concretes d'intensitats i velocitats al llarg del temps en una via d'estudi molt concreta d'extensió reduïda, repartida en trams més petits amb característiques físiques homogènies. D'aquesta manera, les emissions totals que s'envien a l'atmosfera en la via d'estudi es determinen mitjançant la relació següent:

$$E_{TOT_i} = \sum_{p=1}^{p_f} \left(\sum_{t=1}^{t_f} \left(\sum_{j=1}^{j_f} E_{calent}^{p,t}{}_{i,j} \right) \right) \quad [47]$$

On: E_{TOT_i} és la quantitat d'emissió total de la via d'estudi durant el període de temps analitzat de la substància contaminant i .

$E_{calent}^{p,t}{}_{i,j}$ és la quantitat d'emissió en calent que s'envia a l'atmosfera en l'interval temporal de 15 minuts t i el tram de la via p per a la tipologia de vehicle j .

Aquesta formulació ens permet obtenir les quantitats d'emissió de cada substància contaminant per a cada classe de vehicle en els diferents trams de la via d'anàlisi, així com en els diferents intervals temporals, permetent agrupar aquestes variables de diverses maneres per obtenir informacions importants sobre les característiques de les emissions que s'estan enviant a l'atmosfera i les variacions que aquestes poden patir al llarg del temps.

7.2.2 Extrapolació de la metodologia CORINAIR a les normatives més modernes

La metodologia CORINAIR té calculats els factors d'emissió pels diferents tipus de vehicles fins la normativa Euro1. Per als vehicles més moderns s'aplica un factor teòric de reducció, degut a la falta de dades experimentals. Aquest factor teòric es calcula amb la fórmula general següent:

$$\frac{e_{TOT_i}^j}{e_{TOT_i}^{Euro1}} = \frac{ES_i^j}{ES_i^{Euro1}} \quad [48]$$



On: $e_{TOT_i}^j$	és el factor d'emissió total del contaminat i per a les tipologies de vehicle $j = \text{Euro2, Euro3 i Euro4}$.
$e_{TOT_i}^{\text{Euro1}}$	és factor d'emissió total del contaminat i per a la tipologia de vehicle Euro1.
ES_i^j	és l'emissió estàndard del contaminat i per a les tipologies de vehicle $j = \text{Euro2, Euro3 i Euro4}$.
ES_i^{Euro1}	és l'emissió estàndard del contaminat i per a la tipologia de vehicle Euro1.

Aquesta expressió es fonamenta en que per a cada tipus de contaminant, la relació entre l'emissió d'un vehicle post-Euro1 i un vehicle de referència (en aquest cas de tipologia Euro1) és igual a la relació entre els seus límits legals respectius d'emissió.

7.2.3 Classificació dels vehicles

Les emissions produïdes pels vehicles de diferent tipologia varien considerablement, essent necessari establir unes classificacions en les que entre els vehicles de cada classe hi existeixin una homogeneïtat suficient com per considerar que pertanyen a un mateix grup. Els factors d'emissió es deuen combinar amb les dades sobre l'activitat del trànsit per obtenir les estimacions sobre les emissions i, per tant, la classificació de les emissions ha de ser compatible amb les dades disponibles o amb les utilitzades per realitzar les estadístiques de trànsit.

Els principals criteris que es consideren per realitzar aquestes classificacions son els següents:

- La tipologia del vehicle
- La dimensió del vehicle (capacitat del motor i pes)
- El nivell de control de les emissions (d'acord amb les legislacions establertes per la Unió Europea sobre control d'emissions)
- La tipologia de carburant utilitzat (gasolina, dièsel, electricitat, ...)
- Les característiques mecàniques del motor (cilindres, motors de 2 o 4 temps, ...)
- Fi operatiu del vehicle (per vehicles pesants de mercaderies, autocars o autobusos urbans)

Amb la finalitat d'identificar el nivell de control de les emissions, els anys en que s'han dut a terme les entrades en vigor de les accions legislatives de la Unió Europea haurien de coincidir amb aquells anys en els que s'han incorporat al parc mòbil de la Unió Europea els vehicles amb els avanços tecnològics adequats. No obstant, aquesta correspondència hauria de ser considerada simplement com una referència, ja que existeixen diferències en els diferents estats membres de la Unió Europea.



Hi ha dos criteris molt importants utilitzats per a definir les categories de vehicles. El primer és el nivell de control, que es defineix com l'estàndard de control de les emissions segons el qual un vehicle es classifica dintre d'una determinada categoria. El segon és realitzar la classificació dels vehicles depenent de la tecnologia dels seus motors i els seus sistemes de control d'emissions. En realitat, existeix una relació molt estreta entre ambdós sistemes de classificació ja que els límits establerts per la llei normalment dicten quin tipus de tecnologia és necessària per no superar els valors límits fixats, encara que aquestes tecnologies no estiguin legalment especificades.

7.2.4 Parc d'automòbils de l'Àrea Metropolitana de Barcelona

El parc d'automòbils de l'Àrea Metropolitana de Barcelona s'ha estimat a partir de les dades estadístiques de la Direcció General de Trànsit i de l'Ajuntament de Barcelona dels anys 2005 i 2006 respectivament.

Combustible	Normativa	Any de Matriculació	Vehicles Lleugers (%)			
			Total	< 1400 cc	1400 – 2000 cc	> 2000 cc
Gasolina	Euro 4	2005 - 2007	12,6	3,7	6,5	2,4
	Euro 3	2000 - 2004	18,1	5,3	9,3	3,5
	Euro 2	1997 - 1999	8,8	2,6	4,5	1,7
	Euro 1	1993 - 1996	8,0	2,3	4,1	1,5
	ECE 15/04	1985 - 1992	11,0	3,2	5,7	2,1
	ECE 15/03	1980 - 1984	4,5	1,3	2,3	0,9
Dièsel	Euro 4	2005 - 2007	7,4	6,7		0,7
	Euro 3	2000 - 2004	10,6	9,6		1,0
	Euro 2	1997 - 1999	5,2	4,7		0,5
	Euro 1	1993 - 1996	4,7	4,3		0,4
	Convencional	< 1993	9,1	8,2		0,9
TOTAL			100,0	100,0		

Figura 41. Percentatges de vehicles lleugers.
(Font: Elaboració pròpia)

Combustible	Normativa	Any de Matriculació	Vehicles Pesants (%)
			Total
Gasolina	Euro 4	2006 - 2007	2,1
	Euro 3	2001 - 2005	5,8
	Euro 2	1997 - 2000	4,0
	Euro 1	1993 - 1996	1,2
	Convencional	< 1993	4,9
Dièsel	Euro 4	2005 - 2007	12,9
	Euro 3	2000 - 2004	31,4
	Euro 2	1995 - 1999	12,7
	Euro 1	1992 - 1994	4,1
	Convencional	< 1992	20,9
TOTAL			100,0

Figura 42. Percentatges de vehicles pesants.
(Font: Elaboració pròpia)



El parc d'automòbils d'Espanya és un dels més antics de la Unió Europea. La seva antiguitat mitjana és d'uns 13 anys (Real Automòbil Club de Catalunya, 2007), tot i que a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, segons les dades que s'han tractat dels anys 2005 i 2006, l'antiguitat dels vehicles lleugers és d'uns 10 anys, mentre que l'antiguitat dels vehicles pesants és d'uns 9 anys.

Aquesta situació no és molt desitjable ja que comporta inconvenients principalment per dos motius. D'una banda, a mesura que els vehicles es deterioren i envelleixen, augmenten les seves emissions i els seus impactes ambientals negatius i, d'altra banda, els avanços tecnològics que s'han anat introduint han sigut molt importants al reduir notablement els seus efectes sobre el medi exterior.

Un altre factor important i característic del parc automobilístic d'Espanya és el seu procés de *dieselització* durant els últims 30 anys en detriment dels vehicles de gasolina, ja que actualment la majoria dels vehicles pesants i una part important dels vehicles lleugers és dièsel i sembla que aquesta xifra va en augment. Això resulta ser un gran inconvenient respecte el medi ambient, ja que aquesta tipologia de combustible és molt més negativa i contaminant que la gasolina.

7.2.5 Factors d'emissió de cada tipologia de vehicle

Els factors d'emissió utilitzats per cada substància contaminant són funció de la velocitat segons les relacions que es mostren a les següents figures que han estat elaborades a partir del *EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook del 2007* de European Environment Agency.

- Per les partícules menors de 10 micres (PM_{10}):

Combustible	Normativa	Any de Matriculació	Vehicles lleugers
Gasolina	Euro 4	2005 - 2007	$0,0015 - 2E-05V + 2E-07V^2$
	Euro 3	2000 - 2004	$0,0019 - 3E-05V + 2E-07V^2$
	Euro 2	1997 - 1999	$0,0039 - 6E-05V + 3E-07V^2$
	Euro 1	1993 - 1996	$0,0048 - 7E-05V + 4E-07V^2$
	ECE 15/04	1985 - 1992	$0,006 - 9E-05V + 5E-07V^2$
	ECE 15/03	1980 - 1984	$0,0072 - 0,0001V + 6E-07V^2$
Dièsel	Euro 4	2005 - 2007	(-72 %)
	Euro 3	2000 - 2004	(-55 %)
	Euro 2	1997 - 1999	(-28 %)
	Euro 1	1993 - 1996	$0,1804 - 0,004415V + 3,33E-05V^2$
	Convencional	< 1993	$0,45 - 0,0086V + 0,000058V^2$

Figura 43. Factors d'emissió dels vehicles lleugers del contaminant PM_{10} .
(Font: EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2007)



Combustible	Normativa	Any de Matriculació	Vehicles Pesants
Gasolina	Euro 4	2006 - 2007	$0,0019 - 3E-05V + 2E-07V^2$
	Euro 3	2001 - 2005	$0,0039 - 6E-05V + 3E-07V^2$
	Euro 2	1997 - 2000	$0,0048 - 7E-05V + 4E-07V^2$
	Euro 1	1993 - 1996	$0,006 - 9E-05V + 5E-07V^2$
	Convencional	< 1993	$0,0072 - 0,0001V + 6E-07V^2$
Dièsel	Euro 4	2005 - 2007	(-84 %)
	Euro 3	2000 - 2004	(-72 %)
	Euro 2	1995 - 1999	(-60 %)
	Euro 1	1992 - 1994	(-35 %)
	Convencional	< 1992	$4,5563V^2(-0,7070)$

Figura 44. Factors d'emissió dels vehicles pesants del contaminant PM₁₀.

(Font: EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2007)

- Pels òxids de nitrogen (NO_x):

Combustible	Normativa	Any de Matriculació	Vehicles Lleugers	
			< 1400 cc	1400 - 2000 cc
Gasolina	Euro 4	2005 - 2007	(-87 %)	(-87 %)
	Euro 3	2000 - 2004	(-76 %)	(-76 %)
	Euro 2	1997 - 1999	(-64 %)	(-64 %)
	Euro 1	1993 - 1996	$0,5595 - 0,01047V + 10,8E-05V^2$	$0,526 - 0,0085V + 8,54E-05V^2$
	ECE 15/04	1985 - 1992	$1,432 + 0,003V + 0,000097V^2$	$1,484 + 0,013V + 0,000074V^2$
	ECE 15/03	1980 - 1984	$1,616 - 0,0084V + 0,00025V^2$	$1,29EXP(0,0099V)$
Dièsel	Euro 4	2005 - 2007	(-71 %)	
	Euro 3	2000 - 2004	(-47 %)	
	Euro 2	1997 - 1999	(-23 %)	
	Euro 1	1993 - 1996	$1,4335 - 0,026V + 17,85E-05V^2$	
	Convencional	< 1993	$0,918 - 0,014 + 0,000101V^2$	

Figura 45. Factors d'emissió dels vehicles lleugers del contaminant NO_x.

(Font: EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2007)

Combustible	Normativa	Any de Matriculació	Vehicles Lleugers
			> 2000 cc
Gasolina	Euro 4	2005 - 2007	(-87 %)
	Euro 3	2000 - 2004	(-76 %)
	Euro 2	1997 - 1999	(-64 %)
	Euro 1	1993 - 1996	$0,666 - 0,009V + 7,55E-05V^2$
	ECE 15/04	1985 - 1992	$2,427 - 0,014V + 0,000266V^2$
	ECE 15/03	1980 - 1984	$2,784 - 0,0112V + 0,000294V^2$
Dièsel	Euro 4	2005 - 2007	(-71 %)
	Euro 3	2000 - 2004	(-47 %)
	Euro 2	1997 - 1999	(-23 %)
	Euro 1	1993 - 1996	$1,4335 - 0,026V + 17,85E-05V^2$
	Convencional	< 1993	$1,331 - 0,018V + 0,000133V^2$

Figura 46. Factors d'emissió dels vehicles lleugers del contaminant NO_x.

(Font: EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2007)



Combustible	Normativa	Any de Matriculació	Vehicles Pesants
Gasolina	Euro 4	2006 - 2007	(-90 %)
	Euro 3	2001 - 2005	(-79 %)
	Euro 2	1997 - 2000	(-66 %)
	Euro 1	1993 - 1996	$0,666 - 0,009V + 7,55E-05V^2$
	Convencional	< 1993	$0,0179V + 1,9547$
Dièsel	Euro 4	2005 - 2007	(-80 %)
	Euro 3	2000 - 2004	(-65 %)
	Euro 2	1995 - 1999	(-50 %)
	Euro 1	1992 - 1994	(-30 %)
	Convencional	< 1992	$50,305V^{(-0,7708)}$

Figura 47. Factors d'emissió dels vehicles pesants del contaminant NOx.
(Font: EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2007)

7.2.6 Preparació de les dades pels càlculs ambientals

Un cop realitzat el tractament de les dades disponibles, hi ha hagut un seguit de dades que no s'han pogut regenerar degut a que no hi havia les dades necessàries per tal de poder regenerar-les amb suficient exactitud. Aquestes dades representen un percentatge molt reduït respecte del total, però son necessàries per tal de poder aplicar correctament la metodologia d'avaluació ambiental.

A continuació es mostren una sèrie d'hipòtesis que s'han considerat per tal de poder estimar aquestes dades. Tenint en compte que la metodologia d'avaluació ambiental s'aplica en parells per permetre calcular el percentatge de reducció de la contaminació ambiental per a cada substància contaminant, aquestes hipòtesis no representen una pèrdua d'exactitud ja que s'apliquen en els diferents escenaris que s'avaluen.

- En els trams en que, un cop regenerades les dades, no hi existeixen dades de velocitat, s'ha considerat el principi de continuïtat del flux, és a dir, entre tres trams consecutius amb una mateixa velocitat màxima legal, el tram central circula a una velocitat mitjana respecte els altres dos i els trams extrems de la via d'estudi circulen a la velocitat més pròxima disponible, realitzant en els casos en que sigui necessari una ponderació en funció de la velocitat màxima legal dels trams.
- En els trams en que, un cop regenerades les dades, no hi existeixen dades de la distribució de vehicles en lleugers i pesants, s'ha considerat una equació potencial significativa relacionada amb la intensitat total en funció de les dades de la distribució de vehicles en lleugers i pesants de la resta de trams. Les expressions significatives es mostren a les Figures de l'Annex – 5 de Preparació de les dades.



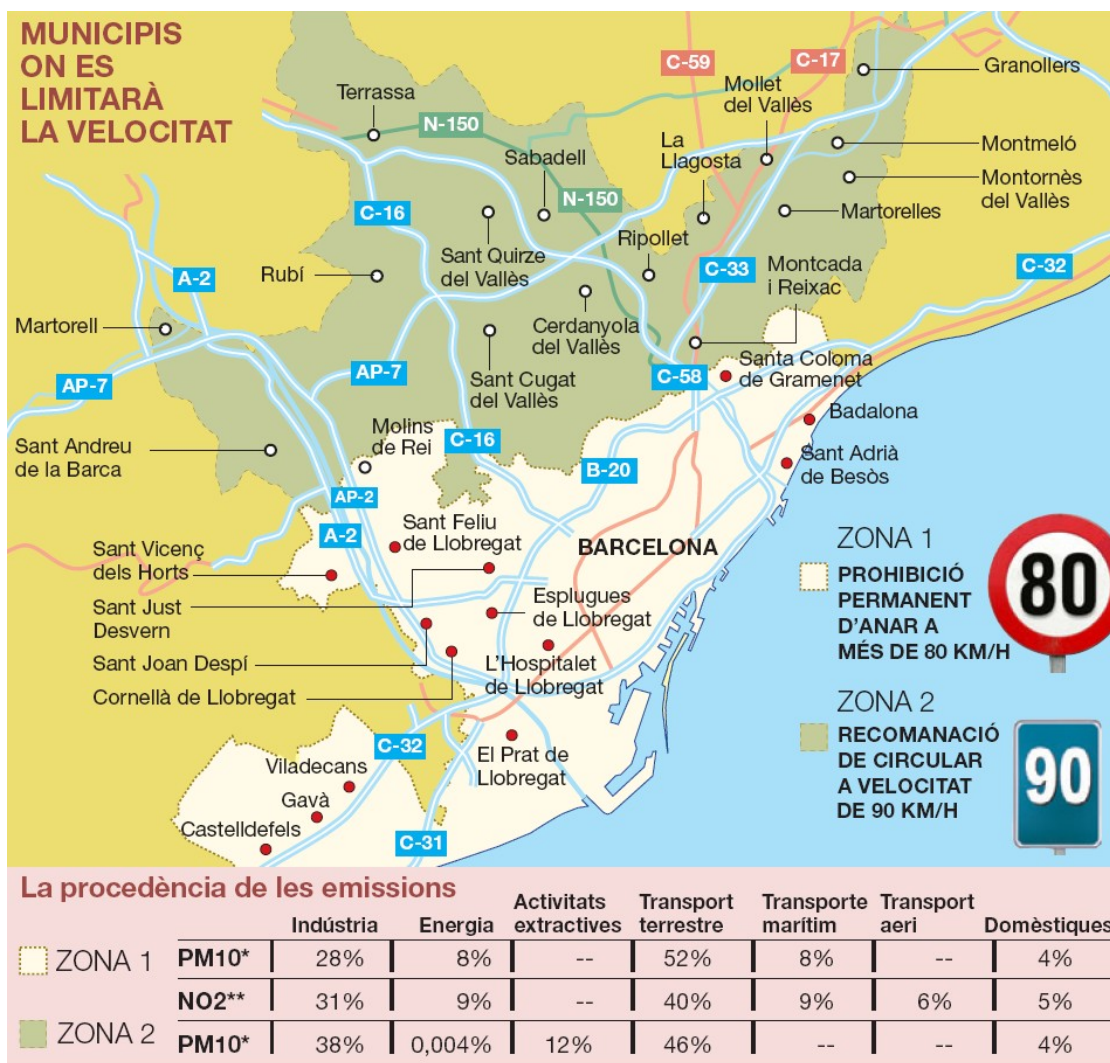
- En els trams en que, un cop regenerades les dades, no hi existeixen cap tipus de dades, no s'hi calculen les conseqüències ambientals directament, sinó que un cop realitzats els càlculs, es pondera la seva rellevància en funció dels trams immediatament anterior i posterior, ponderats per la distància de cada tram.
- En sentit d'entrada a Barcelona, en que no hi ha dades per a la tipologia de dia de Dilluns, tampoc s'hi calculen les conseqüències ambientals directament, sinó que un cop realitzats els càlculs, s'obté la proporció que representa la quantitat de contaminació dels Dilluns per a cada substància contaminant en sentit sortida de Barcelona respecte del total de la setmana i s'aplica a les dades d'entrada a Barcelona.

7.3 CÀLCUL DEL DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE¹

El pla d'actuació 2007 – 2009 de la Generalitat de Catalunya, que s'ha elaborat amb la col·laboració dels ens locals, preveu l'aplicació de 73 mesures de gestió del transport terrestre, aeri i marítim, les activitats industrials i energètiques i l'àmbit domèstic per tal de disminuir la contaminació atmosfèrica, adaptant-se als límits establerts en el Protocol de Kyoto per a l'any 2010. Concretament, una d'aquestes 73 mesures és la reducció dels límits de velocitat a les vies ràpides i la reducció de velocitat real de circulació.

Aquesta mesura consisteix en que, en una primera fase, s'estableixi una velocitat màxima de 80 km/h a les autopistes, autovies i carreteres principals dels 16 municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (zona 1), i es recomana circular a 90 km/h com a màxim a les vies ràpides dels 24 municipis de la segona corona (zona 2), tal com es pot observar a la Figura 48. A partir del 2009, en una segona fase, s'aplicarà un límit de velocitat variable, que es fixarà en funció de diferents paràmetres com la contaminació, la congestió, la seguretat i la capacitat de dispersió al medi atmosfèric.

¹ Veure pàgines 66-72, capítol 3.2 del *Pla de Millora de la Qualitat de l'Aire* (<http://mediambient.gencat.net/cat/inici.jsp>)



*Partícules en suspensió menors de 10 micres. **Òxids de nitrogen.

Figura 48. Municipis afectats per la mesura i procedència de les emissions.
(Font: Conselleria de Medi Ambient i Habitatge, 2007)

El procés utilitzat per la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya per tal d'estimar els beneficis d'aquesta mesura mostra a continuació.

7.3.1 Partícules menors de 10 micres (PM10)

1) A partir de les taules CORINAIR de l'any 2002 obtenen la informació mostrada a la Figura 49 per a diferents tipologies de vehicle, de com varien les emissions de PM₁₀ (en termes absoluts i en %), al passar d'una velocitat mitjana de 100 Km/h a 80 Km/h considerant que tots els vehicles efectuen el mateix recorregut anual.



Tipus de vehicles	FE80 (g/km)	FE100 (g/km)	Reducció (%)
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	0,0007	0,0007	0
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	0,13	0,17	23,5
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	0,32	0,35	8,6
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	0,21	0,18	14,3
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	0,40	0,34	15,0
Motocicletes > 50 cc 4 t	0,04	0,04	0

Figura 49. Quantitat d'emissions per tipologia de vehicle i la reducció aconseguida.

(Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2007)

2) A continuació calculen (seguint la metodologia TREMOVE) el nombre de vehicles de cada tipologia que hi haurà a l'any 2010, i per cada un d'ells estimen els quilòmetres que recorren cada any. La multiplicació d'aquestes dues variables permet tenir el nombre de quilòmetres per any que recorre cada tipus de vehicle i saber així el pes percentual de cada una d'aquestes tipologies en el total de quilòmetres recorreguts. Aquesta informació es mostra en la Figura 50.

Tipus de vehicles	$\square x$ (km/any)	N	$N \cdot \square x$	%
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	4.328	587.597	2.543.119.816	49,8
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	4.328	587.597	2.543.119.816	49,8
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	15.020	132.680	19.928.536	0,4
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	13.582	101.000	1.371.782	0,03
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	13.582	101.000	1.371.782	0,03
Motocicletes > 50 cc 4 t	376	58.960	2.216.896	0,04

Figura 50. Distàncies recorregudes per cada tipologia de vehicle i la seva representació respecte el total.

(Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2007)

3) Seguidament, per estimar la variació de les emissions de PM_{10} derivada de la reducció de la velocitat de 100 a 80 Km/h, realitzen una mitjana ponderada de la variació esperada per cada tipologia de vehicles. El factor de ponderació que s'utilitza és el pes de cada tipologia de vehicle en el total de quilòmetres recorreguts en 1 any.



Tipus de vehicles	1-FE80/FE100	N·x	% global
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	0	0,50	0
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	0,23	0,50	11,5
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	0,09	0,04	0,4
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	0,14	0,0003	0,004
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	0,15	0,0003	0,004
Motocicletes > 50 cc 4 t	0	0,0004	0

Figura 51. Variació de les emissions.
(Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2007)

La suma de la última columna de la Figura 51, que mostra la reducció d'emissions de PM₁₀ de cada tipus de vehicle, representa la reducció total que es produiria en cas d'implantar-se la mesura, essent en aquest cas del 12 %.

Cal remarcar que les dades de les Figura 49 i 50 son errònies, ja que en la primera no s'ha calculat correctament el percentatge de reducció i en la segona la multiplicació no s'ha realitzat correctament. En realitat s'obtenen els valors de les Figura 52 i 53.

Tipus de vehicles	FE80 (g/km)	FE100 (g/km)	Reducció (%)
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	0,0007	0,0007	0
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	0,13	0,17	23,53
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	0,32	0,35	8,57
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	0,21	0,18	-16,67
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	0,40	0,34	-17,65
Motocicletes > 50 cc 4 t	0,04	0,04	0

Figura 52. Correcció de la Figura 49.
(Font: Elaboració pròpia)



Tipus de vehicles	$\square x$ (km/any)	N	$N \cdot \square x$	%
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	4.328	587.597	2.543.119.816	25,83
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	4.328	587.597	2.543.119.816	25,83
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	15.020	132.680	1.992.853.600	20,24
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	13.582	101.000	1.371.782.000	13,93
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	13.582	101.000	1.371.782.000	13,93
Motocicletes > 50 cc 4 t	376	58.960	22.168.960	0,23

Figura 53. Correcció de la Figura 50.
(Font: Elaboració pròpia)

Per tant, la Figura 51 quedaria com la Figura 54, on s'observa que la reducció total que es produiria en cas d'implantar-se la mesura seria del 3%.

Tipus de vehicles	1-FE80/FE100	$N \cdot \square x$	% global
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	0	25,83	0
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	0,2353	25,83	6,08
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	0,0857	20,24	1,74
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	-0,1667	13,93	-2,32
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	-0,1765	13,93	-2,46
Motocicletes > 50 cc 4 t	0	0,23	0

Figura 54. Correcció de la Figura 51.
(Font: Elaboració pròpia)

7.3.2 Òxids de nitrogen (NOx)

El procediment és anàleg de l'anterior.

1) A partir de les taules CORINAIR de l'any 2002 obtenen la informació mostrada a la Figura 55 per a diferents tipologies de vehicle, de com varien les emissions de NOx (en termes absoluts i en %), al passar d'una velocitat mitjana de 100 Km/h a 80 Km/h considerant que tots els vehicles efectuen el mateix recorregut anual.



Tipus de vehicles	FE80 (g/km)	FE100 (g/km)	Reducció (%)
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	0,14	0,19	26,3
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	0,44	0,53	16,9
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	0,83	1,39	40,3
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	2,61	4,18	37,6
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	4,09	4,37	6,4
Motocicletes > 50 cc 4 t	0,28	0,36	22,2

Figura 55. Quantitat d'emissions per tipologia de vehicle i la reducció aconseguida.

(Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2007)

2) A continuació calculen (seguint la metodologia TREMOVE) el nombre de vehicles de cada tipologia que hi haurà a l'any 2010, i per cada un d'ells estimen els quilòmetres que recorren cada any. La multiplicació d'aquestes dues variables permet tenir el nombre de quilòmetres per any que recorre cada tipus de vehicle i saber així el pes percentual de cada una d'aquestes tipologies en el total de quilòmetres recorreguts. Aquesta informació es mostra en la Figura 50 a l'apartat de les emissions de PM₁₀.

3) Seguidament, per estimar la variació de les emissions de PM₁₀ derivada de la reducció de la velocitat de 100 a 80 Km/h, realitzen una mitjana ponderada de la variació esperada per cada tipologia de vehicles. El factor de ponderació que s'utilitza és el pes de cada tipologia de vehicle en el total de quilòmetres recorreguts en 1 any.

Tipus de vehicles	1- FE80/FE100	N·x	% global
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	0,26	0,50	13,0
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	0,17	0,50	8,5
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	0,40	0,04	1,6
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	0,38	0,0003	0,01
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	0,06	0,0003	0,002
Motocicletes > 50 cc 4 t	0,22	0,0004	0,009

Figura 56. Variació de les emissions.

(Font: Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2007)



La suma de la última columna de la Figura 56, que mostra la reducció d'emissions de NOx de cada tipus de vehicle, representa la reducció total que es produiria en cas d'implantar-se la mesura, essent en aquest cas del 23%.

Com que la Figura 50 té un error en la multiplicació realitzada, si tenim en compte les dades corregides de la Figura 53, s'obtindrien les dades de la Figura 57 on es mostra que en cas d'implantar-se aquesta mesura es reduirien un 25,5% les emissions d'òxids de nitrogen (NOx).

Tipus de vehicles	1-FE80/FE100	N ₂ O _x	% global
Turismes gasolina (Euro II / Euro III) 1,4 - 2,0 l	0,2632	25,83	6,80
Turismes dièsel (Euro II / Euro III) < 2,0 l	0,1698	25,83	4,39
Pesants 1 dièsel (Euro II / Euro III) < 3,5 t	0,4029	20,24	8,16
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) 3,5 - 7,5 t	0,3756	13,93	5,23
Pesants 2 dièsel (Euro II / Euro III) > 7,5 t	0,0641	13,93	0,89
Motocicletes > 50 cc 4 t	0,2222	0,23	0,05

Figura 57. Variació de les emissions.
(Font: Elaboració pròpia)

No obstant, en els càlculs de les dues substàncies contaminants no es té en compte que segons l'article 48 del reglament de circulació, en autopistes i autovies, els autobusos i els vehicles mixtes no poden sobrepassar la velocitat de 100 km/h, mentre que els camions i vehicles articulats no poden sobrepassar la velocitat de 90 km/h. Per tant, els vehicles pesants en realitat no circulaven a 100 km/h, sinó que ho feien a velocitats menors, obtenint-se que les reduccions esperades haurien de ser menors del 25,5% per NOx i majors del 3% per PM₁₀, ja que en aquest cas contribueixen a reduir la millora en la contaminació atmosfèrica.



8. RESULTATS I MESURES D'APLICACIÓ

En aquest apartat es comenten els resultats obtinguts a partir de l'aplicació de la metodologia d'avaluació ambiental per a les diverses substàncies contaminants sobre les dades ja tractades de la via d'anàlisi.

La metodologia d'avaluació ambiental s'ha aplicat sobre diverses situacions o escenaris possibles, per tal de poder analitzar detalladament diferents possibilitats i poder quantificar de quina manera influeix cada situació.

S'han calculat les emissions a la situació actual i amb la limitació establerta (Zona 1 a 80 Km/h i Zona 2 a 90 Km/h) per a les 24 hores del dia i per a aquells períodes de temps en que la mesura de reducció de la velocitat té conseqüències per tal de que els grans nombres del total del dia no amaguin informació útil. A més a més, s'ha realitzat un anàlisi de sensibilitat per tal de comprovar com varien les emissions en el cas de tenir un parc d'automòbils format pels vehicles més eficients tecnològicament que hi ha a l'actualitat (Euro 4) o respecte els segons més eficients (Euro 3), i s'han realitzat diverses combinacions possibles entre les situacions plantejades per tal de tenir informació combinada.

Aquests resultats s'han obtingut en valor absolut (grams/dia) per a cada tipologia de dia de la setmana, per a cada tipologia de vehicle així com en percentatge de reducció respecte la situació que s'analitza.

No s'han analitzat independentment els períodes de congestió amb les seves emissions, ja que la metodologia aplicada, tot i tenir un interval d'operativitat per velocitats d'entre 10 Km/h i 130 Km/h, funciona correctament quan aquestes velocitats són el més uniforme possible dintre dels intervals de temps disponibles, i degut a la naturalesa de les dades amb intervals de 15 minuts i les característiques de situacions de congestió, on la velocitat no és uniforme, sinó que repetidament s'hi succeeixen situacions amb stop and go, aquests valors estarien molt distorsionats i segurament infravalorats, coneixent que a velocitats molt baixes les emissions són molt majors que a velocitats mitges. Per tant, per tal de poder analitzar detalladament les situacions de congestió i les seves conseqüències en emissions caldria que les dades disponibles fossin molt més continues tant temporalment com espacialment, amb intervals temporals menors d'un minut i trams molt més curts.

Un cop realitzats tots aquests càlculs entre les diferents situacions considerades, s'obtenen els valors que es poden observar a l'Annex de Resultats. A continuació es mostra un resum d'aquests resultats que ens permet obtenir la informació més rellevant.

8.1 RESUM DE RESULTATS

La realització de l'anàlisi de sensibilitat entre diferents escenaris d'eficiència dels vehicles ha aportat dades molt interessants, però s'ha comprovat que el fet



de dividir l'anàlisi en diferents períodes en funció de la velocitat per tal de que els grans nombres del total de dia no amaguin informació útil, no ens aporta gaire informació complementària, ja que els valors obtinguts en percentatge de reducció són molt similars. Això es deu a que el percentatge de quilòmetres recorreguts pel total de vehicles al llarg de tota la via d'estudi a una velocitat inferior als 80 km/h és força baix, aproximadament el 18% en la tipologia de dia més desfavorable, corresponent als dies laborables en sentit d'entrada a Barcelona, i per tant, aquest efecte no ocasiona distorsions significatives.

8.1.1 Òxids de nitrogen (NOx)

La quantitat d'emissions mitjana per a cada tipologia de dia en la situació actual es pot observar a la Figura 58. Aquests valors proporcionen un valor total per a la setmana d'unes 14,2 tones emeses a l'atmosfera en el total de la via d'estudi. També es pot observar la tendència que existeix en la repartició d'aquestes emissions al llarg de la setmana, ja que els caps de setmana aquesta contaminació és menor per la disminució de trànsit, mentre que els dilluns i els divendres mostren la tendència existent d'una major contaminació per l'increment del trànsit degut al començament i final de la jornada laboral de la majoria de la població. En la resta de dies laborables, les emissions es mantenen en valors mitjos corresponents a valors més elevats que els del cap de setmana, però més baixos que els dels dilluns i divendres.

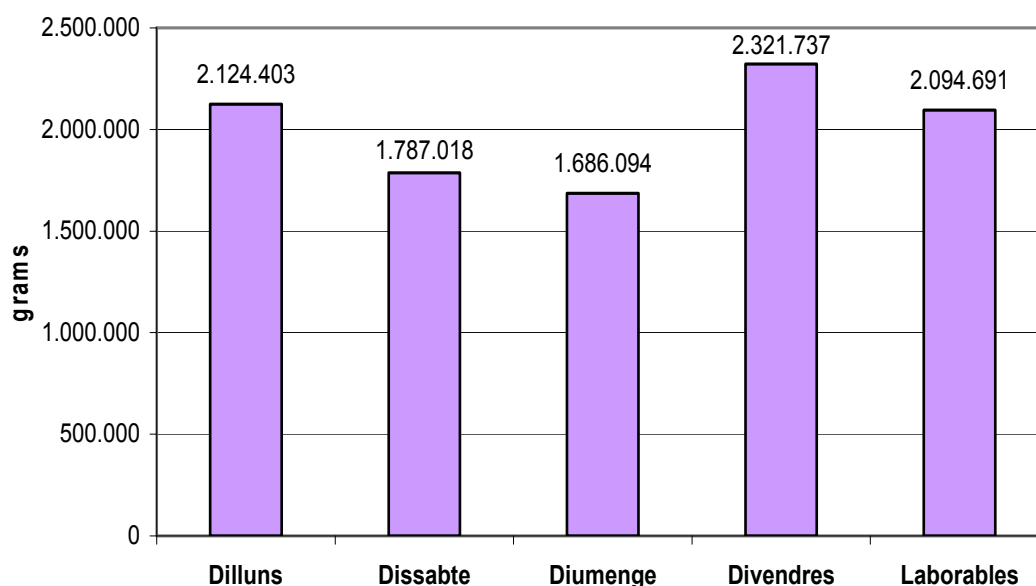


Figura 58. Emissions de NOx per tipologia de dia en situació actual.

(Font: Elaboració pròpia)

A la Figura 59 s'observa la repartició de les emissions existents a la situació actual en funció de la tipologia general de vehicle i de la tipologia de combustible que aquests utilitzen. Es pot remarcar que els vehicles que utilitzen gasolina com a combustible tenen una major importància en les emissions dels



òxids de nitrogen, ja que aquests representen pràcticament el doble del total de vehicles lleugers dièsel i menys de quatre vegades menys que els vehicles pesants dièsel. També es pot observar que la influència de la tipologia de vehicle no hi té gran importància, ja que en mitjana hi ha proporció d'aproximadament un 11% de vehicles pesants (9% dièsel i 2% gasolina), mentre que les emissions d'aquests són del 12%, suposant un increment de l'1% respecte del total, corresponent als vehicles pesants gasolina.

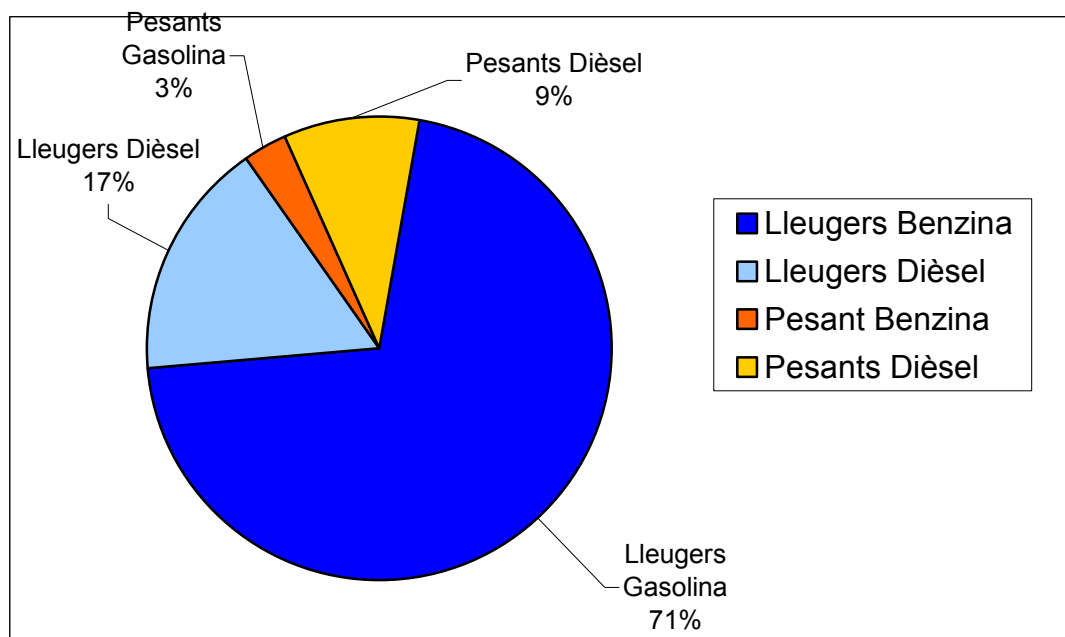


Figura 59. Contribució a les emissions de NO_x segons la tipologia de vehicle i combustible utilitzat en la situació actual.

(Font: Elaboració pròpia)

A la Figura 60 es mostren els percentatges de reducció de les emissions d'òxids de nitrogen dels escenaris més rellevants respecte de la situació actual. S'observa clarament que la limitació establerta proporciona una reducció no despreciable en les emissions a l'atmosfera (14%), però les millores tecnològiques en els vehicles aconseguirien que aquests siguin molt més eficients i per tant, les reduccions aconseguides siguin molt més importants. Si a més a més, es combinen les millores tecnològiques dels vehicles amb la limitació establerta s'aconsegueix que aquestes emissions es redueixin respecte de la situació actual encara més, però sense tenir una variació molt rellevant, passant del 71% al 75% en el cas de tenir un parc automobilístic Euro 3 o del 84% al 86% en el cas de tenir un parc automobilístic Euro 4. Cal remarcar que el percentatge de reducció de la limitació establerta si es conserva si no es parteix del parc automobilístic actual sinó dels parcs automobilístics més eficients.

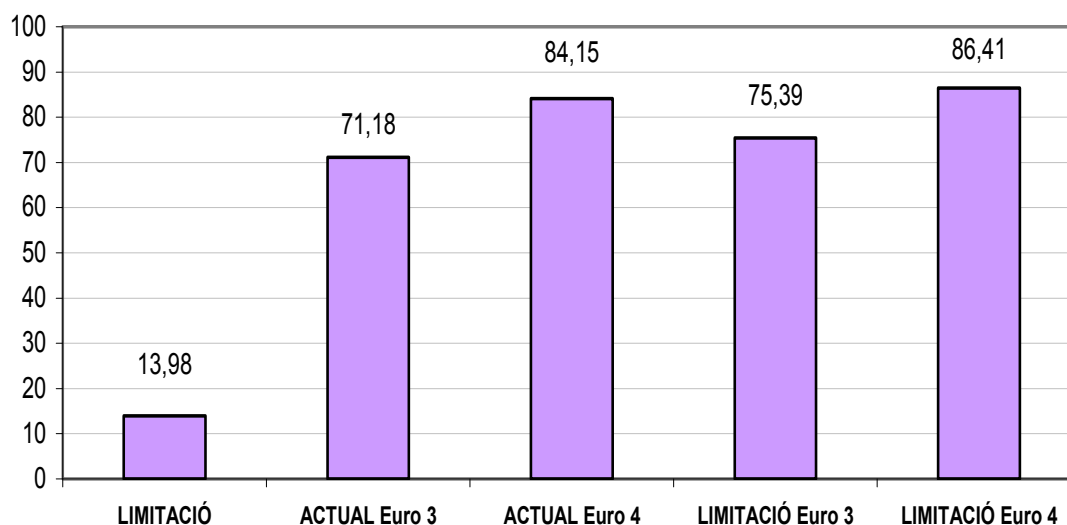


Figura 60. Percentatge de reducció d'emissions de NOx respecte l'actualitat.
(Font: Elaboració pròpia)

Dintre de cada reducció d'emissions degudes a aconseguir disposar d'un parc d'automòbils més eficient, la distribució dels vehicles segons la seva tipologia i combustible no té un pes similar al de la situació actual, sinó que com es mostra a la Figura 61, com que els vehicles de gasolina hi influeixen més, es milloren molt més les emissions dels vehicles de gasolina que les dels vehicles dièsel, incrementant-se aquestes últimes en percentatge respecte del total.

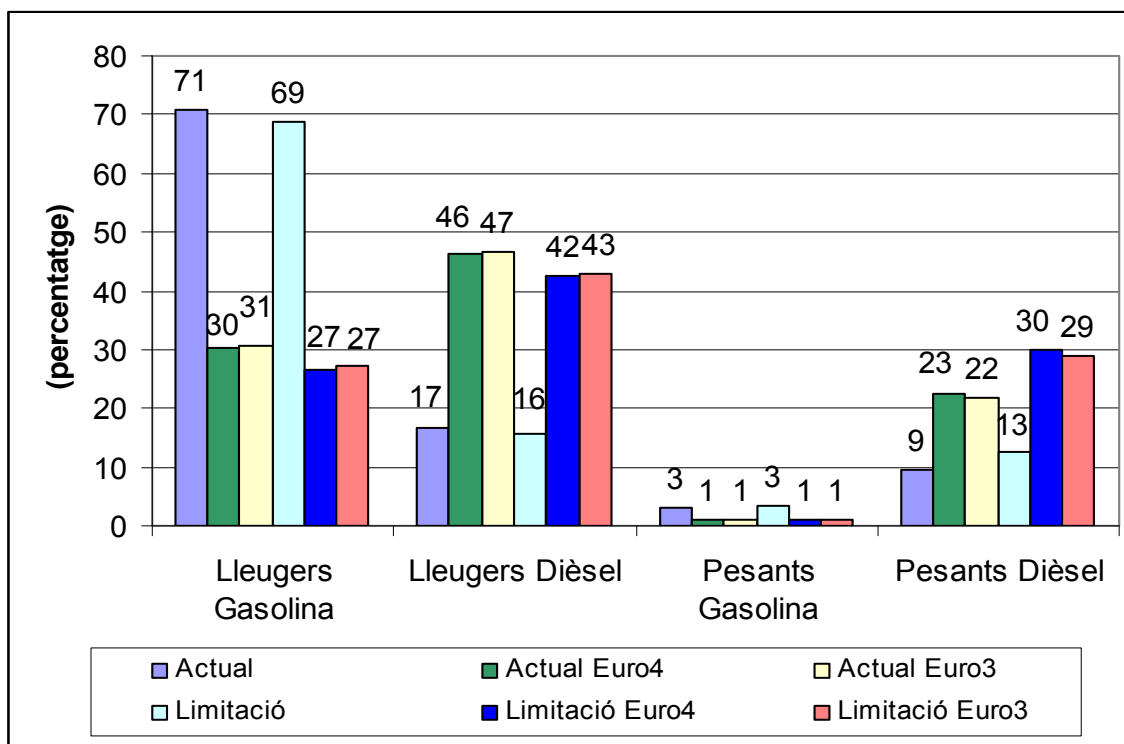


Figura 61. Contribució a les emissions de NOx tipus de vehicle i combustible.
(Font: Elaboració pròpia)



D'aquesta manera, amb la millora tecnològica dels vehicles es passa d'una situació en la que els vehicles de gasolina hi tenien més pes a una situació on els vehicles dièsel hi tenen més pes, i on la tipologia de vehicle també passa a tenir importància, ja que els vehicles pesants augmenten considerablement el seu pes respecte del total, perquè no s'avança tant tecnològicament com el cas dels vehicles lleugers.

Cal destacar que si s'aplica la limitació de velocitat establerta, la distribució de cada tipologia de vehicle en funció del combustible és molt semblant que en la situació actual, però amb un petit increment de la proporció en emissions dels vehicles pesants.

Partícules menors de 10 micres (PM₁₀)

La quantitat d'emissions mitjana per a cada tipologia de dia en la situació actual es pot observar a la Figura 62 . Aquests valors proporcionen un valor total per a la setmana d'uns 590 Kg emesos a l'atmosfera en el total de la via d'estudi. També es pot observar la tendència que existeix en la repartició d'aquestes emissions al llarg de la setmana, seguint la mateixa distribució que amb el òxid de nitrogen, ja que els cap de setmana aquesta contaminació és menor per la disminució de trànsit, mentre que els dilluns i els divendres mostren la tendència existent d'una major contaminació per l'increment del trànsit degut al començament i final de la jornada laboral de la majoria de la població. En la resta de dies laborables, les emissions es mantenen en valors mitjos corresponents a valors més elevats que els del cap de setmana, però més baixos que els dels dilluns i divendres.

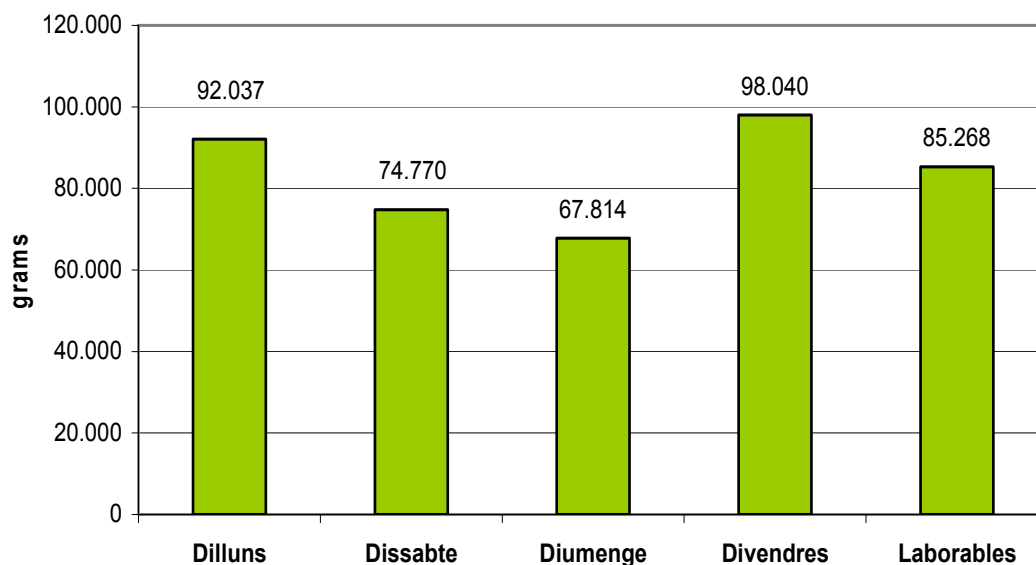


Figura 62. Emissions de PM₁₀ per tipologia de dia en situació actual.
(Font: Elaboració pròpia)



Comparant les dues substàncies contaminants es pot observar que els òxids de nitrogen representen una quantitat emesa molt més gran que les partícules inferiors de deu micres, essent pràcticament 25 vegades més. No obstant, la seva distribució al llarg de la setmana és molt semblant en ambdues substàncies contaminants.

A la Figura 63 s'observa la repartició de les emissions existents a la situació actual en funció de la tipologia general de vehicle i de la tipologia de combustible que aquests utilitzen. En aquesta substància contaminant es veu molt clarament com hi predomina la influència dels vehicles que consumeixen dièsel (98%) davant dels vehicles gasolina (2%). Concretament, en el cas dels vehicles lleugers gasolina, aquests tan sols representen el 2% de les emissions respecte del total tot i estar representats quantitativament pel 56% en mitjana del total de vehicles, mentre que els vehicles lleugers dièsel emeten el 73% a l'atmosfera representant quantitativament el 33% en mitjana del total de vehicles. En el cas dels vehicles pesants gasolina, aquests tenen una representació despreciable en les emissions, mentre que els pesants dièsel representen el 25% d'emissions tot i representar quantitativament el 9% en mitjana del total de vehicles. Per tant, el fet de la tipologia de vehicle també té certa importància, ja que un vehicle pesant emet a l'atmosfera en mitjana 2,7 vegades més que un vehicle lleuger.

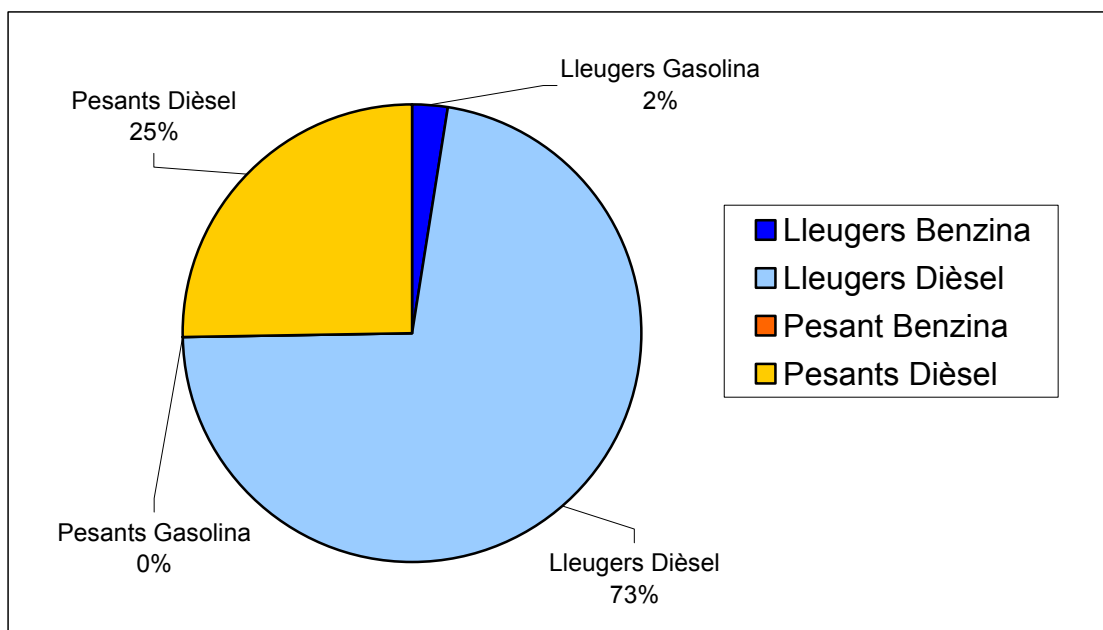


Figura 63. Contribució a les emissions de PM₁₀ segons la tipologia de vehicle i combustible utilitzat en la situació actual.

(Font: Elaboració pròpia)

A la Figura 64 es mostren els percentatges de reducció de les emissions de partícules amb diàmetres inferiors a 10 micres dels escenaris més rellevants



respecte de la situació actual. En aquest cas, també es pot observar molt clarament que la limitació establerta proporciona una reducció no despreciable en les emissions a l'atmosfera (20%), però les millores tecnològiques en els vehicles aconseguixen que aquests siguin molt més eficients i per tant, les reduccions aconseguides siguin molt més importants. Si a més a més, es combinen les millores tecnològiques dels vehicles amb la limitació establerta s'aconsegueix que aquestes emissions es redueixin respecte de la situació actual encara més, passant del 51% al 63% en el cas de tenir un parc automobilístic Euro 3 o del 69% al 77% en el cas de tenir un parc automobilístic Euro 4. Cal remarcar que el percentatge de reducció de la limitació establerta si es conserva si no es parteix del parc automobilístic actual sinó dels parcs automobilístics més eficients.

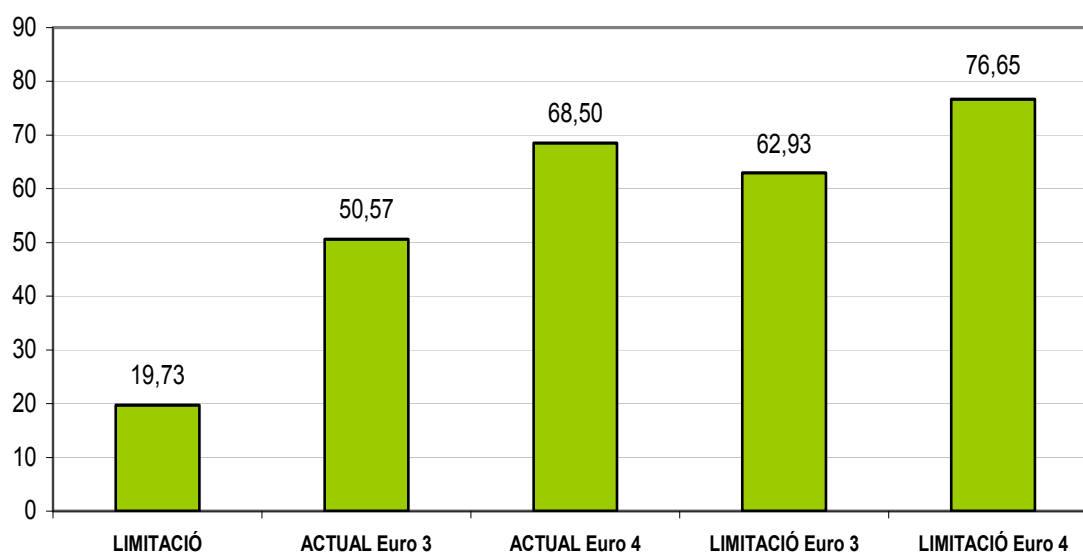


Figura 64. Percentatge de reducció d'emissions de PM_{10} respecte la situació actual.

(Font: Elaboració pròpia)

Dintre de cada reducció d'emissions degudes a aconseguir disposar d'un parc d'automòbils més eficient, la distribució dels vehicles segons la seva tipologia i combustible conserva la gran importància dels vehicles dièsel, però la distribució entre lleugers i pesants pateix variacions considerables. Aquestes variacions es poden observar a la Figura 65, deixant constància que les millores produïdes en els vehicles lleugers produeixen disminucions majors en les emissions que les millores produïdes en els vehicles pesants, arribant a que les aportacions dels vehicles lleugers dièsel i pesants dièsel siguin molt semblants.

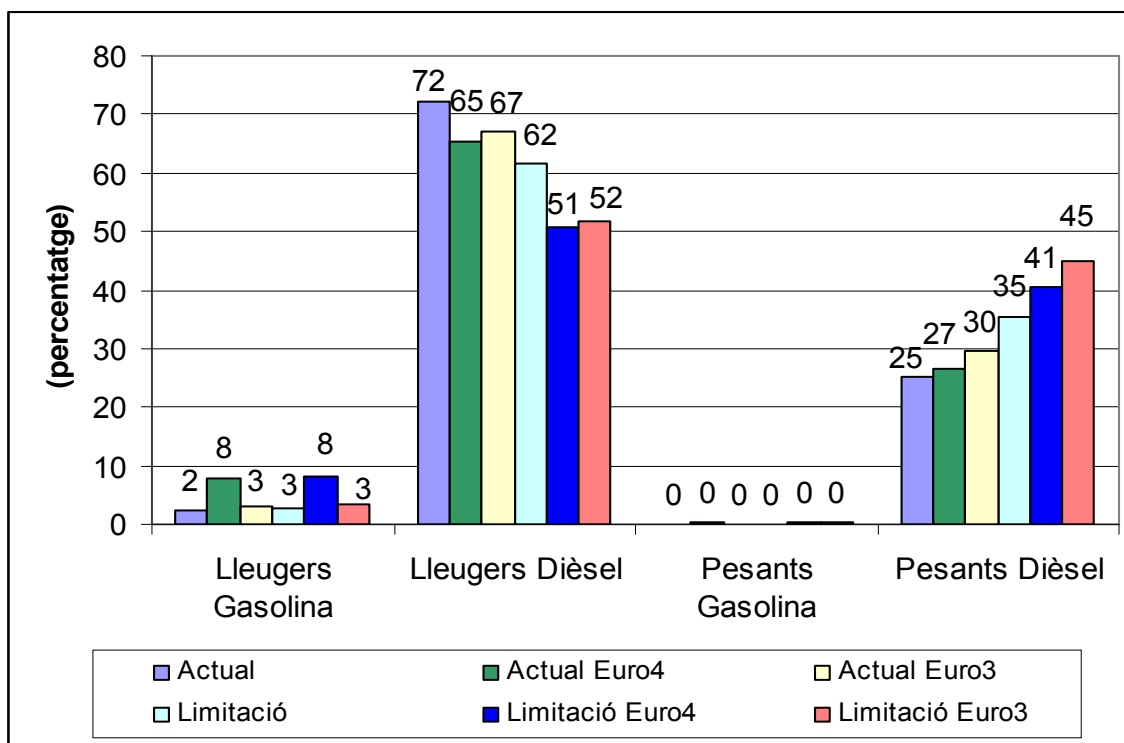


Figura 65. Contribució a les emissions de PM₁₀ segons la tipologia de vehicle i combustible utilitzat.
(Font: Elaboració pròpia)

Cal destacar que si s'aplica la limitació de velocitat establerta, la distribució de cada tipologia de vehicle en funció del combustible segueix mantenint el mateix patró, però amb un increment de la proporció en emissions dels vehicles pesants dièsel davant la disminució de l'aportació dels vehicles lleugers dièsel, ja que en els vehicles lleugers el fet de reduir la velocitat en aquestes magnituds provoca una disminució de les emissions, mentre que les emissions dels pesants augmenten lleument.

8.2 COMPARACIÓ AMB EL DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT I HABITATGE

El Departament de Medi Ambient i Habitatge, preveia, realitzant els seus càlculs correctament – tal com es veu anteriorment –, unes reduccions d'òxids de nitrogen (NO_x) del 25,5% i unes reduccions de partícules menors de 10 micres (PM₁₀) del 3% al aplicar la limitació establerta d'una velocitat màxima de 80 km/h a la Zona 1 i 90 km/h a la Zona 2 de l'Àrea Metropolitana de Barcelona per un parc d'automòbils amb el 100% complint la normativa Euro 3.

Si tenim en compte únicament l'aplicació de la limitació establerta pel parc d'automòbils actual, s'aconsegueixen unes reduccions mitjanes d'òxids de nitrogen (NO_x) del 14% i unes reduccions mitjanes de partícules menors de 10 micres (PM₁₀) del 20%.



Si d'altra banda, es té en compte l'aplicació de la limitació establerta per un parc d'automòbils del 100% complint la normativa Euro 3 (que és el que suposa el Departament de Medi Ambient i Habitatge per l'any 2010), amb el trànsit provinent de les dades actuals dels detectors d'espina, s'aconsegueixen unes reduccions mitjanes d'òxids de nitrogen (NOx) del 15% i unes reduccions mitjanes de partícules menors de 10 micres (PM₁₀) del 25%.

8.3 MESURES D'APLICACIÓ

La mala qualitat de l'aire que es respira ocasiona, segons el Ministeri de Medi Ambient, 16.000 morts prematures cada any a Espanya. Es a dir, una mortalitat quatre vegades superior a la ocasionada pels accidents de trànsit. Com, a més a més, els principals problemes es donen a les ciutats, on el contaminant més important és el vehicle, és lògic que els governs es preocupin per la salut dels ciutadans i promoguin mesures per tal de reduir-la.

La situació actual parteix d'un parc automobilístic bastant antic amb molt marge en beneficis ambientals al incorporar les millores tecnològiques existents en els vehicles, ja que si actualment tinguéssim uns vehicles amb una antiguitat menor de 2 anys (Euro 4), sense aplicar cap altra mesura s'aconseguirien unes reduccions del 84% en el cas dels òxids de nitrogen (NOx) i del 69% en el cas de les partícules inferiors a 10 micres (PM₁₀), mentre que si actualment tinguéssim uns vehicles amb una antiguitat d'entre 3 i 7 anys (Euro 3), sense aplicar cap altra mesura s'aconseguirien unes reduccions del 71% en el cas dels òxids de nitrogen (NOx) i del 51% en el cas de les partícules inferiors a 10 micres (PM₁₀). Aquests percentatges de reducció de les emissions són els més importants sense l'incorporació de cap mesura complementaria, i per tant determinen que aquest ha de ser un objectiu prioritari.

També, el fet de l'antiguitat del parc d'automòbils comporta que la velocitat de circulació tingui un paper important en l'emissió de substàncies contaminants, ja que, encara que les corbes de comportament d'emissions respecte la velocitat segueixi un mateix patró amb l'evolució dels vehicles i les seves normatives de compliment (Euro 1, Euro 2, etc.), la reducció al aplicar polítiques de reducció de velocitat en valor absolut és significativa, mentre que la reducció en percentatge és pràcticament constant.

Un altre element important que comporta un increment de les emissions a l'actualitat és el fet de tenir situacions de congestió. Tal com s'ha comentat, l'estudi exhaustiu d'aquests fenòmens és molt complex pel grau de detall que exigeix en la base de dades. No obstant, es pot estimar que actualment el percentatge de quilòmetres recorreguts pel total de vehicles al llarg de tota la via d'estudi a una velocitat inferior als 80 km/h és d'aproximadament el 18% en la tipologia de dia més desfavorable, corresponent als dies laborables en sentit d'entrada a Barcelona.



En conseqüència, partint de la situació actual es poden proposar diverses mesures efectives que comporten una reducció significativa de la contaminació. Aquestes mesures a implementar es subdivideixen en dos grans grups en funció del moment en que es s'implementen. El primer correspon a les mesures aplicables a curt termini, durant aproximadament el 2008 – 2009, mentre que el segon correspon a les mesures aplicables a mig – llarg termini, a partir del 2010.

8.3.1 A curt termini (2008 – 2009)

A curt termini és necessari fomentar la renovació dels vehicles per tal de tenir un parc automobilístic més nou i en conseqüència més eficient en termes ambientals, així com fomentar la formació dels conductors per tal que es realitzi una conducció més eficient dels vehicles, aconseguint d'aquesta manera reduir entre un 10 i un 15% les emissions a l'atmosfera. Amb aquestes dues mesures, indirectament també s'aconseguiria reduir l'accidentalitat, ja que d'una banda amb una millor formació dels conductors l'error humà disminuiria i amb uns vehicles més nous i segurs la probabilitat de que els vehicles tinguin un error mecànic també disminueix, alhora que la gravetat dels accidents seria menor.

També resulta molt important aplicar polítiques de reducció de la velocitat com la de la limitació establerta d'una velocitat màxima de 80 km/h a la Zona 1 i 90 km/h a la Zona 2 de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, on s'aconseguirien directament unes reduccions mitjanes d'òxids de nitrogen (NOx) del 14% i unes reduccions mitjanes de partícules menors de 10 micres (PM₁₀) del 20%. A més a més, de manera indirecta es reduiria la variabilitat de les velocitats, tenint que la gran part dels vehicles circularien a una velocitat més uniforme que actualment i per tant, també es reduiria l'accidentalitat.

Cal afegir que la limitació de la velocitat en les vies d'accés a les grans ciutats és una de les mesures que s'ha demostrat efectiva en nombrosos casos. Moltes grans ciutats europees l'han aplicat, com és el cas de Viena, Berlín, París, Frankfurt, Munich o Rotterdam aconseguint una reducció de les emissions contaminants.

D'aquesta manera, amb aquestes mesures anteriors, es pot disminuir de manera indirecta l'accidentalitat, provocant una disminució dels colls d'ampolla temporals deguts als accidents i per tant, es pot reduir la congestió en aquestes situacions, disminuint la quantitat d'emissions dels vehicles.

Analitzant més detalladament la limitació de velocitats amb la teoria general del trànsit (Annex – 1) es pot concloure que els escenaris de circulació que hi haurien a la via d'anàlisi serien molt semblants als actuals, sense augmentar les situacions de congestió, ja que de les tres variables fonamentals del trànsit, la intensitat es mantindria constant i només variaria la velocitat amb la densitat. D'una banda la congestió es redueix per tenir una menor accidentalitat i d'altra banda, si ens fixem en la Figura 66, una disminució de la velocitat per sobre de



la velocitat de circulació en capacitat, que per autopistes està compresa entre 70 Km/h i 80 Km/h, provoca una transició més uniforme cap a la situació de capacitat.

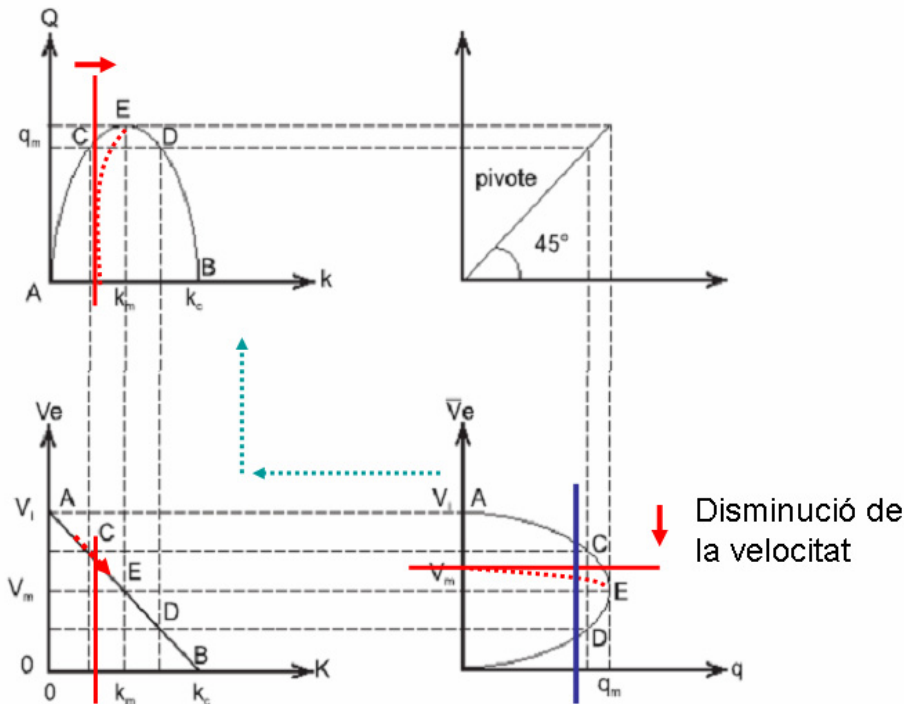


Figura 66. Relacions entre les variables fonamentals del trànsit.
(Font: Elaboració pròpia)

D'aquesta manera, hi ha una menor variabilitat en les velocitats, provocant que la disminució de la velocitat a mesura que augmenta la intensitat es produeixi de manera més gradual, sense variacions brusques, obtenint, a més a més de la ja comentada reducció de l'accidentalitat, que per una mateixa intensitat respecte la situació actual, a velocitats majors a la de circulació en capacitat, els vehicles viatgin amb una menor distància de seguretat, augmentant així la densitat, però no augmentant les situacions de congestió, ja que no variaria la intensitat ni la capacitat de la via que continuaria sent la mateixa, sinó que les situacions de congestió es desplaçarien molt lleument en el temps. És important destacar que la limitació de velocitat que es proposa no ajudaria a atenuar el fenomen de congestió sinó va acompanyada de mesures de gestió de la demanda.

Cal remarcar que si la velocitat es limités a una velocitat inferior a la velocitat de circulació en capacitat, com per exemple a 60 Km/h, la relació fonamental entre la intensitat i la velocitat variaria tal com es mostra a la Figura 67, obtenint que ja no seria possible assolir la capacitat física de la carretera, ja que no es podria circular a la velocitat adequada i per tant, si empitjorarien les situacions de circulació. En aquest cas, la limitació de la velocitat sí implicaria una disminució



de la intensitat màxima que la via pot assolir raonablement, passant a tenir situacions de congestió per fluxos inferiors als que actualment produeixen congestió.

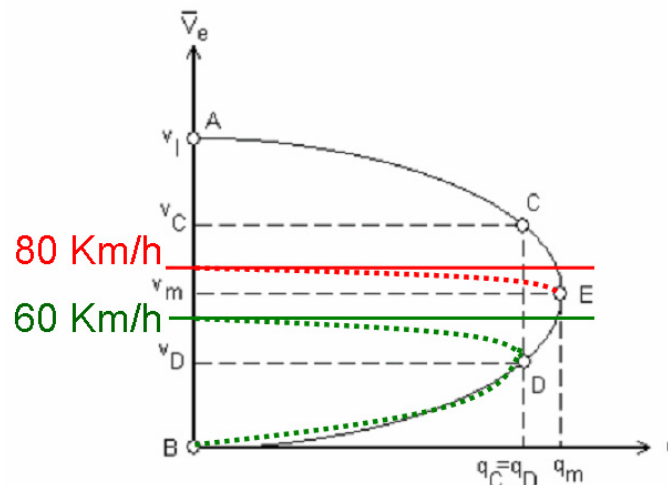


Figura 67. Relació entre intensitat i velocitat.
(Font: Elaboració pròpia)

Altres mesures que es poden aplicar a curt termini són el foment del transport públic vers el transport privat i l'ocupació als vehicles, sobretot en hores punta, ja que la mitjana actual és inferior a dues persones per vehicle. D'aquesta manera es reduiria el flux entrant a la via d'anàlisi amb un menor nombre de vehicles que provocaria unes menors situacions de congestió i per tant, menor contaminació a l'atmosfera. En aquesta línia es podria estudiar analitzar si és convenient destinar un carril de circulació a la zona més propera a l'entrada de Barcelona que fos exclusiu pel transport públic rodat i pels vehicles d'alta ocupació.

És convenient que totes aquestes mesures estiguin ben arrelades en els usuaris, ja que sinó, al reduir els períodes de congestió s'atrauria més demanda cap a la via tornant a la mateixa situació que hi ha actualment.

A primera vista, pot semblar interessant controlar l'accés dels vehicles pesants a les vies ràpides durant les hores puntes per tal de minimitzar els períodes de congestió ja que la presència de vehicles pesants afecta al flux d'una autopista de dues maneres. Per una banda, aquests vehicles tenen unes dimensions més grans que els vehicles lleugers, ocupant més espai a la plataforma, i d'altra banda, les prestacions d'aquests vehicles (acceleració, desacceleració, manteniment de velocitats, etc.) són generalment inferiors a la dels vehicles lleugers, produint intervals buits dintre d'una mateixa corrent de circulació que no poden ser omplerts ràpidament. Aquests buits es poden veure incrementats considerablement davant la presència de rampes llargues, ja que per les seves dimensions i tonelatges, els vehicles pesants s'hi veuen molt influenciats. No obstant, a la via d'estudi no hi ha la presència de cap rampa important que



pugui afectar a aquesta tipologia de vehicles i per tant, la disminució aconseguida en els períodes de congestió seria mínima, traslladant aquest tràfic cap a vies secundàries de la xarxa de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, on poden haver-hi conseqüències més rellevants que empitjorarien la situació actual.

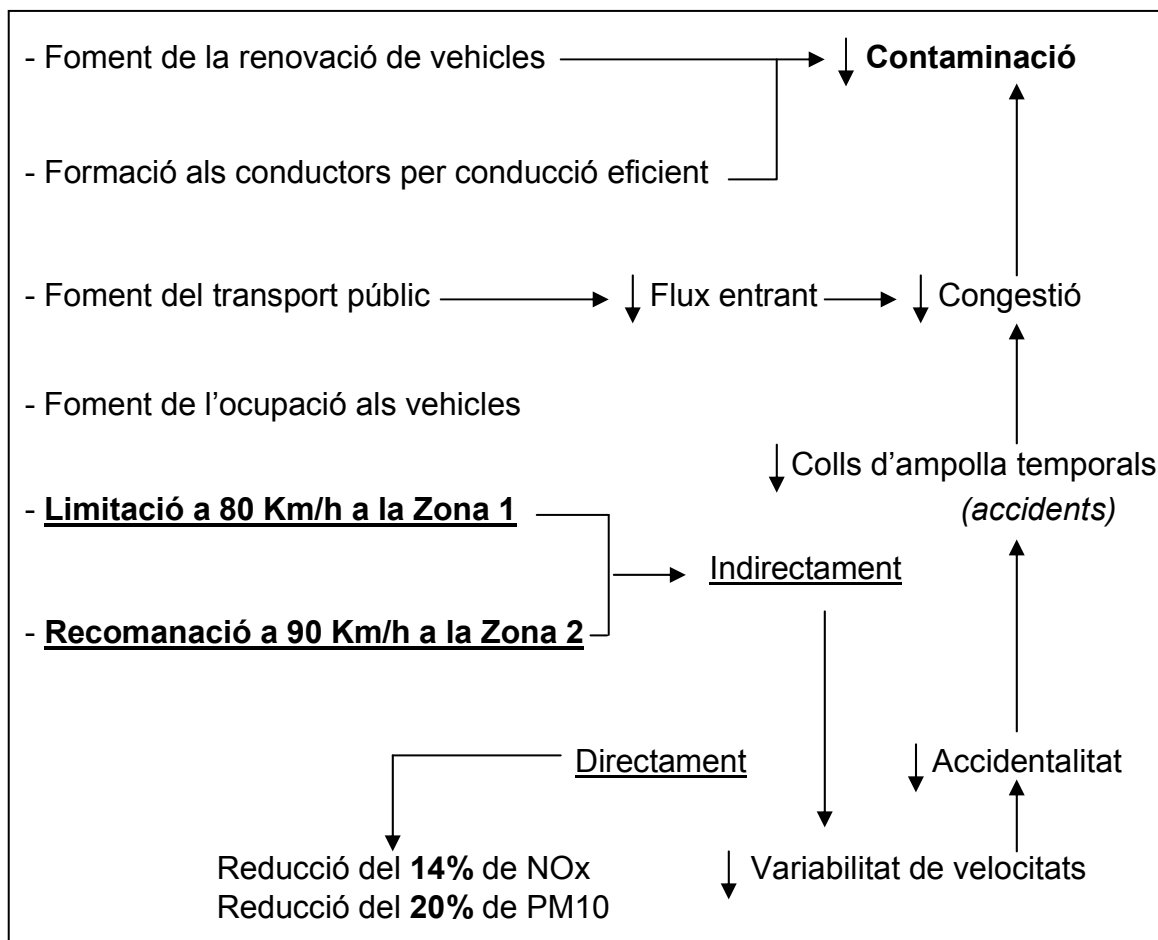


Figura 68. Resum de les mesures d'aplicació a curt termini.
(Font: Elaboració pròpia)

8.3.2 A mig - llarg termini (2010 -)

A mig - llarg termini, com a conseqüència de les accions anteriors, es tindrà un parc d'automòbils amb una antiguitat mitjana menor, i per tant més eficient ambientalment, provocant que la velocitat segueixi tenint una influència en percentatge similar sobre les emissions a l'atmosfera, però en molt menor mesura en termes absoluts. Aleshores ja no és tant necessari disposar d'una limitació fixa de velocitat en els accessos de Barcelona, sinó que és més convenient disposar d'una limitació variable de la velocitat en funció de la zona geogràfica, de la situació del trànsit i de la contaminació ambiental. Amb aquesta senyalització variable, es permet ajustar els límits de velocitat al nivell



òptim en cada moment, per tal de reduir la congestió, la contaminació i augmentar la seguretat vial.

A més a més, és necessari continuar fomentant la formació dels conductors per tal que es realitzi una conducció més eficient i facilitar que aquesta formació arribi a tots els conductors, realitzant-se ja des de les autoescoles com a requisit per a l'obtenció del carnet. També és necessari seguir fomentant la renovació dels vehicles per tal de continuar tenint un parc automobilístic cada cop més nou i en definitiva, amb menys conseqüències ambientals negatives.

Altres mesures que caldria seguir aplicant són el foment del transport públic vers el transport privat i l'ocupació als vehicles, encara que també resulta interessant controlar el flux en els enllaços a les vies ràpides durant les hores puntes per tal de minimitzar els períodes de congestió i en conseqüència la quantitat total d'emissions a l'atmosfera.

D'aquesta manera, si es realitza un control per totes les tipologies de vehicle en els enllaços per tal de limitar el flux entrant a la via (*ramp metering*), es pot aconseguir que la via estigui treballant durant més temps de manera òptima, al voltant dels seus valors de capacitat, ja que tal com es pot observar a la Figura 66, per una determinada velocitat límit superior a la velocitat de circulació en capacitat, quan la intensitat de la via tendeix als valors de capacitat, si es va dosificant el flux en els enllaços per tal que aquesta intensitat no augmenti sinó es mantingui aproximadament constant, la densitat no continuarà augmentant i no es passarà a estar en la part inestable de les relacions entre les variables fonamentals del trànsit, aconseguint mantenir-se al voltant dels valors de capacitat, augmentant l'eficiència infraestructural de la via.

Cal afegir, que seria convenient que els preus dels carburants no afavoreixin el combustible dièsel, ja que a més a més de les majors conseqüències negatives ambientals que produeixen els combustibles dièsel, degut a la gran demanda d'aquest combustible, part del producte que es subministra ha de ser importat de l'estranger, mentre que les refineries de gasolina son excedentàries.

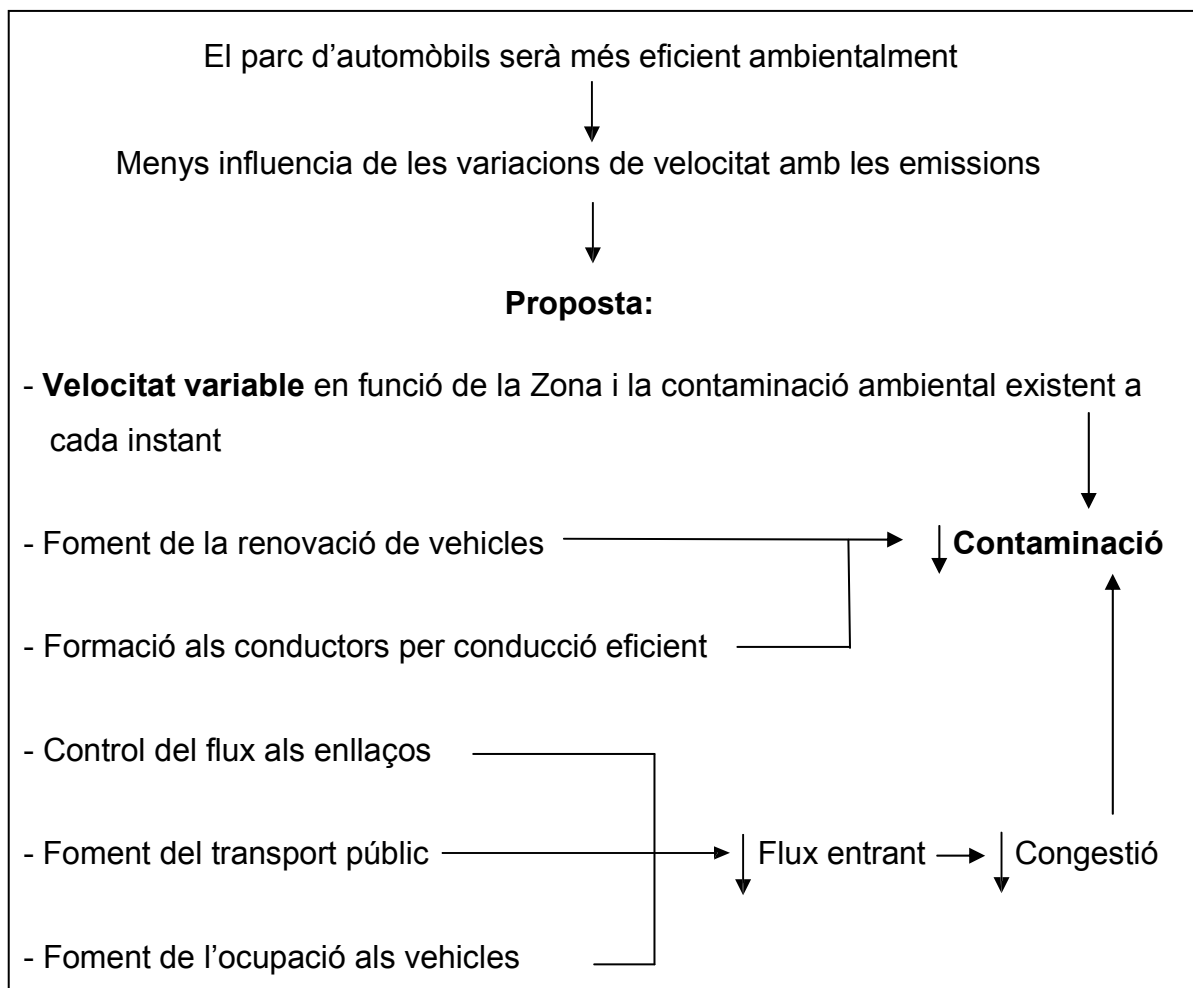


Figura 69. Resum de les mesures d'aplicació a mig – llarg termini.
(Font: Elaboració pròpia)



9. CONCLUSIONS

Un cop llegit el present estudi, es pot arribar a la conclusió de que els tractaments exhaustius de dades són mecanismes molt importants a l'enginyeria de trànsit, ja que permeten obtenir gran informació de les variables fonamentals del trànsit, convertint-se en una eina imprescindible per la planificació d'una xarxa viària i la optimització de les infraestructures de transport.

Concretament, ha permès conèixer el comportament del trànsit i les seves repercussions ambientals, que tot i no trobar-se en una època inicial d'estudi, si es troba en una època inicial de sensibilització col·lectiva amb un creixent interès dels gestors d'infraestructures, tant públics com privats, estant acompanyada d'un gran nombre d'investigacions. A més a més, respon al finançament dels diferents sensors de recollida de dades a les carreteres, i en especial dels detectors d'espina magnètics, que gràcies als avenços soferts des de 1960 presenten una bona relació cost - benefici.

Un cop analitzat el context general, si ens fixem en l'aplicació de la metodologia ambiental, aquest document és un dels primers (tot i una recerca bibliogràfica exhaustiva, no s'ha trobat cap estudi similar) que no realitza un anàlisi macroscòpic amb les dades de trànsit i les emissions, sinó que realitza un anàlisi microscòpic d'una zona geogràfica concreta, a partir d'una base de dades real prèviament tractada on, s'ha pogut demostrar que actualment només funcionen aproximadament un 50 - 60% dels detectors d'espina instal·lats i que els algorismes de tractament de dades incrementen la utilitat i la representativitat de la base de dades al permetre recuperar gran part de la informació.

D'aquesta manera, es poden estimar mesures d'aplicació adaptades a cada zona geogràfica concreta, per tal d'incrementar l'eficiència infraestructural i ambiental de cada via. Concretament, s'ha pogut afirmar que el territori nacional disposa d'un parc vehicles força antic amb molt marge en beneficis ambientals al incorporar les millores tecnològiques existents en els vehicles més nous, aconseguint reduccions en emissions del 84% en el cas dels òxids de nitrogen i del 69% en el cas de les partícules inferiors a 10 micres si tots els vehicles fossin Euro 4.

Una adequada limitació de la velocitat també permet reduir significativament les emissions dels vehicles, aconseguint en el cas de la limitació establerta, unes reduccions mitjanes d'òxids de nitrogen del 14% i unes reduccions mitjanes de partícules menors de 10 micres del 20%, essent per tant, una mesura molt més efectiva a curt termini que no pas a llarg termini, on aquestes reduccions es disminueixen significativament.

Les situacions de trànsit dens representen com a màxim el 18% dels quilometres recorreguts pel total d'usuaris, però agrupant-se en intervals de temps concrets que provoquen una pèrdua considerable als usuaris, tant en termes de temps com econòmics. Per tant, son necessàries mesures operatives de reducció de la congestió, com la gestió de la demanda de trànsit.



Així, el present document permet seguir investigant per diversos camins. D'una banda, permet aplicar la mateixa metodologia de càlcul ambiental a una base de dades amb uns intervals temporals menors a un minut i amb uns trams de menor longitud, per tal de poder detectar quantitativament les situacions de congestió i stop and go, i quantificar exactament l'excés d'emissions a l'atmosfera produïdes per aquests escenaris. D'altra banda es pot realitzar un estudi detallat dels factors d'emissió, en que a més a més de la tipologia de vehicle i de combustible utilitzat, tingués en compte les variacions produïdes en les revolucions del motor de cada vehicle a través dels canvis de marxes per tal de millorar-los i poder obtenir les emissions resultants amb un major grau de fiabilitat.



10. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Ajuntament de Barcelona, Departament d'Estadística (2006). *Cens de vehicles de la ciutat de Barcelona*.

ARTEMIS (2003). *Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles*. Research Project funded by the European Commission – Directorate General Transport and Energy.

CENIT, Centro de Innovación del Transporte (2006). *La Congestión del Tráfico en Áreas Metropolitanas*.

Coifman B. (2000). *Improved Velocity Estimation Using Single Loop Detectors*. Journal of transportation engineering, vol. 35, nº 10. Ohio State University, Columbus.

Direcció General de Qualitat Ambiental (2006). *Reducció dels límits de velocitat a les vies ràpides i reducció de velocitat real de circulació*. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya.

Direcció General de Qualitat Ambiental (2007). *Informe sobre Sostenibilitat Ambiental*. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya.

Dirección General de Tráfico (2004). *Mapa de Tráfico*. Ministerio de Fomento.

Dirección General de Tráfico (2005). *Parque nacional automóvil distribuido por provincias*. Ministerio de Fomento.

Earth Policy Institute (2002). *Urban Actions to Reduce Air Pollution*.

EEA, European Environment Agency (2007). *EMEP / CORINAIR Emission Inventory Guidebook*.

ENEA, Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (2003). *Environment, Energy and Transport*. Research for Sustainable Mobility.

Generalitat de Catalunya (2006). *Els contaminants atmosfèrics*. Web del Departament de Medi Ambient i Habitatge:
http://mediambient.gencat.net/cat/el_medi/atmosfera/contaminacio/contaminants.jsp

Hickman J. (1999). *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Deliverable 22 for the project Meet*. MEET Project.

Kell J. H., Iris J. F., and M. K. Mills (1990). *Traffic detector handbook. Second Edition*. Report nº FHWA-IP-90-002. U. S. Department of Transportation.

Kraemer C., Pardillo J. M., Rocci S., Romana M. G., Sanchez V. y del Val M.A. (2003). *Ingeniería de Carreteras Volumen 1*. Mc Graw Hill.



Künzli N. and Tager I. B. (2005). Air pollution: from lung to heart. *Swiss Medical Weekly*, nº 135, pp 697 -792.

Maerivoet S. and B. De Moor (2005). *Traffic Flow Theory*. Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica.

Oh J. S., R. Jayakrishnan and W. Recker (2002). *Section Travel Time Estimation from Point Detection Data*. Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine.

Pal Arya, S. (1999). *Air pollution meteorology and dispersion*. New York, Oxford. Oxford University Press.

Petty K., H. Noeimi, K. Sanwal, D. Rydzewski, A. Skabardonis, P. Varaiya and H. Al-Deek (1996). *The Freeway Service Patrol Evaluation Project: Database Support Programs, and Accessibility*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 4, nº 2, pp. 71-85.

Real Automòbil Club de Catalunya (2007). *Ecotest 2007*.

Rivas, J., J. R. Marqués y M. García (2007). *Perfiles de rellenado y sustitución de datos de tráfico. Especificación y configuración*. Indra.

Robusté F., C. Daganzo, M. Aymerich i S. Nuñez-Lagos (1999). *Una optimización simple en la gestión de carreteras con peaje en la sombra*. Actas del IX Congreso Chileno de Ingeniería del Transporte, pp. 135-145.

Sun C. and S. G. Ritchie S. (1999). *Individual Vehicle Speed Estimation Using Single Loop Inductive Waveforms*. Journal of transportation engineering, vol. 125. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.

Thompson N. D. and Larive J. F. (2003). *Regulations to control emissions and fuel implications*. CONCAWE, Brussels.

TRB - Transportation Research Board (2000). *Highway Capacity Manual*. National Research Council. Washington D.C..

VTPI, Victoria Transport Policy Institute (2002). *Energy Conservation and Emission Reduction Strategies*.

Wang Y. and N. L. Nihan (2003). *Can Single-Loop Detectors Do the Work of Dual - Loop Detectors?* Journal of transportation engineering, vol. 129, nº 2. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Seattle.